

# **Biochemische Charakterisierung von Pflanzen unterschiedlicher Nutzungsintensität zur Ableitung von Parametern für die Ermittlung des energetischen Futterwertes**

## **Dissertation**

Zur Erlangung des akademischen Grades  
doctor rerum agriculturarum  
(Dr. rer. agr.)

Eingereicht am 13.5.2002

Landwirtschaftlich- Gärtnerischen Fakultät  
der Humboldt- Universität zu Berlin

von Dipl.-Ing. agr. Pramol Meak  
geb. am: 08. Dezember 1969 in Phnom Penh/Kambodscha

Präsident  
der Humboldt- Universität zu Berlin: Prof. Dr. J. Mlynek

Dekan  
der Landwirtschaftlich- Gärtnerischen Fakultät: Prof. Dr. U. J. Nagel

Gutachterin/Gutachter:     1. Dr. habil. C. Kijora  
                                      2. Prof. Dr. habil. E. Kaiser  
                                      3. PD Dr. habil. K.- H. Südekum

Tag der mündlichen Prüfung: 28.6.2002

## Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Dr. habil. C. Kijora für ihr Interesse, die Überlassung des Themas, ihre liebevolle Betreuung, die vielfältigen konstruktiven Hinweise, ihre jederzeit gewährte Unterstützung bei der Anfertigung der Dissertationsarbeit, ihre Freundlichkeit und ihr Verständnis.

An dieser Stelle sei es mir gestattet, Frau Prof. Dr. habil. E. Kaiser für die gewährte Unterstützung und Freundlichkeit zu Danken. Besonders dankbar bin ich, dass ich die Ergebnisse einer Forschungsarbeit als Grundlage für meine Arbeit nutzen konnte. Das ermöglichte es mir, ein so umfangreiches Probenmaterial zu nutzen.

Bei Herrn PD Dr. K.-H. Südekum möchte ich mich für die beratende Diskussion und die Begutachtung meiner Arbeit danken.

Bei Frau G. Ziermann, Frau I. Gründel und Frau M. Heller bedanke ich mich herzlich für die Hilfe bei den Tierversuchen und der Analysenarbeit im Labor.

Bei allen Mitarbeiterinnen des Fachgebietes Futtermittelkunde möchte ich mich für jede Art der Unterstützung und Freundlichkeit bedanken. Ein besonderer Dank gilt Frau Dr. R. Krause, die mir durch Ihren persönlichen Rat oftmals eine große Unterstützung war.

Herrn Dr. J. Puls und seinen Mitarbeiterinnen vom Institut für Holzchemie und chemische Technologie des Holzes, der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft in Hamburg danke ich sehr herzlich für die Möglichkeit, dort meine chemischen Analysen durchführen zu können und für die große Unterstützung, die mir bei den Analysen gewährt wurde. Besonders gerne denke ich an die angenehme Arbeitsatmosphäre im Institut zurück.

Das bearbeitete Forschungsprojekt war durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert worden. So war es mir möglich, durch die Finanzierung einer Stelle meine Arbeit intensiv durchführen zu können. Dafür recht herzlichen Dank an die DFG.

Für eine gewährte großzügige Unterstützung durch ein Übergangsstipendium von 4 Monaten durch die H. WILHELM SCHAUMANN STIFTUNG und ein Abschlussstipendium durch das akademische Auslandsamt der Humboldt-Universität zu Berlin möchte ich mich ebenfalls recht herzlich bedanken.

**Abstrakt:** Die exakte Bestimmung des energetischen Futterwertes von Grünland ist für die Praxis von großer Bedeutung. Das am häufigsten angewendete Schätzverfahren auf Basis der chemischen Analyse ist für Grünlandbestände mit geringer Nutzungsintensität nicht anwendbar. Ziel der Arbeit war es zu prüfen, ob andere ausgewählte Zellwandparameter (Xylose, Arabinose, pCA, FA, säurelösliches Lignin, ADL:Gesamtlignin) über ein breites Nutzungsspektrum eine engere Korrelation zur Verdaulichkeit der OS haben als die Rohfasergehalte, auf deren Korrelation zur in vivo Verdaulichkeit die Schätzgleichungen auf Basis der chemischen Analyse beruhen. Weitere Ziele waren ein Methodenvergleich verschiedener Schätzverfahren und die Bestimmung des Einflusses der Zusammensetzung der bestandsbestimmenden Einzelpflanzen auf den Energiegehalt der Bestände.

Als Probenbasis dienten Pflanzenbestände, die in den Jahren 1996-1998 auf drei unterschiedlichen Versuchsflächen (5, 6 und 7) mit verschiedenen Gräserzusammensetzungen und drei unterschiedlichen Nutzungsformen (intensiv, 3-4 Schnitte, mit (A) bzw. ohne (B) N-Düngung und extensiv (C), 2 Schnitte, später erster Schnitt) im ersten und zweiten Aufwuchs gewonnen worden waren.

Alle Bestandsproben (insgesamt 50) und Einzelpflanzen (109) wurden nach der Weender-Analytik analysiert, die Faserbestandteile NDF, ADF und ADL bestimmt, ausgewählte Zellwandparameter analysiert und der HFT-Gastest durchgeführt.

Zum Methodenvergleich wurden die von der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 1998) empfohlenen Gleichungen auf der Basis des Rohnährstoffgehaltes und der Gasbildung (Gb) sowie die Gleichungen von WEISSBACH et al. (1996, 1999) auf der Basis der enzymunlöslichen organischen Substanz (EuLOS) verwendet.

Als Ergebnis dieser umfangreichen Untersuchungen zeigte sich, dass durch den starken Einfluss von Weißklee auf die Gehalte an Hemicellulosemonomeren (der Xylosegehalt von Klee beträgt 22% des Gehaltes in Gräsern) und phenolischen Säuren (pCA-Gehalt im Klee 10% des Gehaltes in Gräsern) in den Proben die Arbeitshypothese einer engen Korrelation dieser Parameter zur Verdaulichkeit nicht bestätigt werden konnte. Das ADL:Gesamtlignin Verhältnis erbrachte die engste Korrelation zur in vivo Verdaulichkeit. Aus diesem Grund wird dieser Parameter als Prüffaktor am geeignetsten betrachtet. Die Einzelpflanzen zeigten in Abhängigkeit zur Nutzung größere Abweichungen als zwischen den Gräserspezies.

Der Methodenvergleich erbrachte, dass mit dem untersuchten Probenmaterial die HFT- und EuLOS<sup>96</sup>-Gleichungen eine sehr gute Übereinstimmung mit den gemessenen Energiewerten aufwiesen. Die erfassten unlöslichen Reste sowohl aus HFT als auch aus der Cellulasemethode (EuLOS) zeigen eine wesentlich engere Korrelation zur Verdaulichkeit als die Gasbildung und ELOS-Werte.

**Schlüsselwörter:** Grasland, Hemicellulosemonomere, phenolische Säuren, Lignin, Verdaulichkeit, Umsetzbare Energie, Schätzmethoden

**Abstract:** In practice, the accurate estimation of the feed value of grassland is important. The most common method, the calculation of feed value using the chemical analysis of nutrients, is not suitable for grasslands with a low levels of utilisation. Therefore the objective of this study was to test some selected parameters of cell wall for their better suitability of calculating the feed value than the conventional crude fibre content. These parameters were: Xylose, Arabinose, para coumaric acid (pCA), ferula acid (FA), acid soluble Lignin, and the ratio ADL to whole lignin. Further objectives were to compare different in vitro feed value estimation methods and to estimate the influence of the single grass species on the energy content of the grassland.

The study samples were different grassland populations harvested during 1996 and 1998, from three different floor spaces (5,6,7) with different grass populations and with three intensities of management 3 to 4 cuts per year, with (A) and without (B) N-fertilizer and 2 cuts (C) with the first cut after the 1<sup>st</sup> July.

The nutrient content, detergent fibre, cell wall parameter analysis, and HFT gas test were analysed for all grass samples (50) and single plant species (109).

The recommended formulas based on the nutrient content and HFT values (GfE, 1998) and based on the enzymatically insoluble organic matter (WEISSBACH et al., 1996, 1999) were used for the comparison of the feed value calculation methods.

Based on the results of this extensive analytical work the chosen cell wall parameters xylose, arabinose, xylose: arabinose, pCA and ferula acid were not better suitable for the estimation of energy content. The possible reason for this is that the big differences in xylose and pCA contents between the white clover and grasses on the grassland. The concentration of xylose and pCA in clover is only 22% and 10% of the grasses, respectively. The ratio ADL: whole lignin gave a close correlation to the in vivo digestibility and seems to be the best suitable for estimating the energy content. The management intensity affected the nutrient contents more than the single grass species.

The HFT and EuLOS<sup>96</sup> – methods provided the lowest deviation to the in vivo values and are best suitable also for the extensively produced samples. The measured insoluble residues of the HFT and cellulase-methods gave closer correlation coefficients than the ml Gb and the cellulase soluble matter.

**Key words:** Grassland, monomers of hemicelluloses, phenolic acids, lignin, digestibility, metabolisable energy, estimation methods

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Problemstellung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht.....</b>	<b>3</b>
2.1	Eigenschaften verschiedener Grünlandbestände .....	3
2.1.1	Unterschiedliche Nutzungsformen .....	3
2.1.2	Einflussfaktoren auf die Qualität der Bestände .....	4
2.1.3	Charakteristik der Hauptbestandsbildner der eigenen Untersuchung.....	9
2.2	Faserbestandteile und deren Einfluss auf den Futterwert.....	10
2.2.1	Aufbau der pflanzlichen Zellwand .....	10
2.2.1.1	Cellulose.....	11
2.2.1.2	Hemicellulosen.....	12
2.2.1.3	Lignin und phenolische Säuren .....	12
2.2.2	Einfluss verschiedener Zellwandbestandteile auf den Futterwert .....	15
2.2.2.1	Einlagerung von Kohlenhydraten in die Zellwand während des Wachstums.....	15
2.2.2.2	Verdaulichkeit der verschiedenen Kohlenhydrate .....	17
2.2.2.3	Lignifizierung und phenolische Säuren.....	19
2.2.2.4	Korrelationen zwischen den Zellwandbestandteilen und der Verdaulichkeit der organischen Substanz bzw. der Trockensubstanz .....	20
2.3	Methoden der Bestimmung des energetischen Futterwertes von Grünlandbeständen.....	21
<b>3</b>	<b>Material und Methoden.....</b>	<b>24</b>
3.1	Material- und Datenbasis.....	24
3.2	Charakterisierung der Ausgangsbestände.....	24
3.3	Gewinnung und Aufbereitung des Probenmaterials .....	26
3.3.1	Pflanzenbestände .....	26
3.3.2	Einzelpflanzen .....	26
3.3.3	Aufbereitung der Kotproben für die Analytik .....	27
3.4	Chemische Untersuchungen .....	27
3.4.1	Weender Roh Nährstoffanalytik.....	27
3.4.2	Bestimmung der Faser- und Zellwandbestandteile.....	27
3.4.2.1	Bestimmung von Xylose, Arabinose und des säurelöslichen Lignins .....	27
3.4.2.2	Phenolische Säuren (p-Cumarsäure und Ferulasäure) .....	29
3.5	In vitro-Untersuchungen.....	30
3.5.1	Nylonbeuteltechnik.....	30
3.5.2	HFT (Hohenheimer Futterwerttest) .....	30
3.6	Berechnungen und statistische Methoden .....	31

<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>34</b>
4.1	Charakteristik der Pflanzenbestände .....	34
4.1.1	Abiotische Faktoren.....	34
4.1.2	Dynamik der Bestandsentwicklung.....	36
4.1.3	Die chemische Zusammensetzung der Pflanzenbestände.....	38
4.1.3.1	Rohnährstoffgehalte der Bestände .....	38
4.1.3.2	Faserbestandteile der Pflanzenbestände .....	41
4.2	In vivo Verdaulichkeit der ausgewählten Rohnährstoffe und der Zellwandbestandteile der Bestände.....	45
4.3	Beziehungen zwischen der chemischen Zusammensetzung der Zellwandkohlenhydrate und den Verdaulichkeiten der organischen Substanz .....	49
4.4	Der Abbau im Pansen und in vitro-Untersuchungen.....	62
4.4.1	Der TS-Verlust und der Abbau der Zellwandbestandteile im Pansen.....	63
4.4.2	Gasbildung und unlösliche Reste nach HFT-Inkubation, enzymlösliche und enzymunlösliche organische Substanz .....	69
4.4.3	Beziehungen zwischen den in vitro-Parametern und den Verdaulichkeiten der organischen Substanz.....	72
4.5	Bestimmung des energetischen Futterwertes nach verschiedenen Schätzmethoden und Vergleich der Verfahren .....	76
4.6	Beziehungen zwischen gemessenen in vitro-Parametern und der in vivo-umsetzbaren Energie.....	79
4.7	Charakteristik der Einzelpflanzen .....	83
4.7.1	Chemische Zusammensetzung der Einzelpflanzen .....	83
4.7.2	Die netto Gasbildung und der unlösliche Rest nach HFT und die in vitro umsetzbare Energie der Einzelpflanzen.....	89
4.7.3	Beziehung zwischen der geschätzten umsetzbaren Energie nach der HFT und der chemischen Zusammensetzung der Zellwandkohlenhydrate der Einzelpflanzen .....	91
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>96</b>
5.1	Chemische Zusammensetzung der Pflanzenbestände .....	96
5.2	In vivo-Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und der Zellwandbestandteile .....	102
5.3	Beziehung zwischen den Zellwandbestandteilen und der in vivo-Verdaulichkeit der organischen Substanz.....	103
5.4	Methodenvergleich – Methoden der Bestimmung des energetischen Futterwertes .	109
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....</b>	<b>112</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>115</b>
<b>8</b>	<b>Selbständigkeitserklärung.....</b>	<b>126</b>

## **Anhang**

### **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen verschiedenen Parametern der Nutzung und der Nutzungsart.....	5
Tabelle 2: Veränderungen des Nährstoffgehaltes von Gras im Verlauf der Reife (Wiese, grasreich, 1. Schnitt) .....	6
Tabelle 3: Inhaltsstoffe (g/kg TS) verschiedener Grasbestände auf Niedermoor in Abhängigkeit von der Nutzungshäufigkeit .....	8
Tabelle 4: Beschreibung der Hauptbestandsbildner der Grünlandbestände.....	9
Tabelle 5: Durchschnittliche Rohrnährstoffgehalte (Tabellenwerte, DLG Tabellen, 1997) der Hauptbestandsbildner bei etwa gleichen Reifegraden (Beginn Ährenschieben und Beginn der Blüte, und im 2. Aufwuchs 7-9 Wochen Aufwuchszeit) in g/kg TS .....	10
Tabelle 6: P-Cumarsäure- und Ferulasäure-Gehalte in verschiedenen Gräsern (LOWRY et al., 1993) .....	15
Tabelle 7: Gegenüberstellung der aus den verdauten Rohrnährstoffen berechneten Energiegehalte mit den nach verschiedenen Methoden geschätzten Energiegehalten in extensiv erzeugtem Heu (MJ NEL/kg TS) [RODEHUTSCORD et al., 1994].....	23
Tabelle 8: Ertragsanteil (%) der Hauptbestandsbildner zu Beginn des Versuchsprogramms im Frühjahr 1996.....	25
Tabelle 9: Aufteilung der Hauptbestandsbildner auf den Grünlandflächen über die Versuchsdauer.....	36
Tabelle 10: Rohrnährstoffgehalte der Pflanzenbestände in den 1. und 2. Aufwüchsen .....	38
Tabelle 11: Entwicklungsstadium (Reife) und Wuchshöhe (Höhe, cm) der Hauptbestandsbildner zum Schnittzeitpunkt .....	40
Tabelle 12: Zellwandbestandteile der Pflanzenbestände in den 1. und 2. Aufwüchsen .....	43
Tabelle 13: Zellwandkohlenhydratmonomere (ZWK) und phenolische Säuren der Pflanzenbestände in den 1. und 2. Aufwüchsen .....	44
Tabelle 14: In vivo Verdaulichkeit der Rohrnährstoffe und der Zellwandbestandteile .....	46
Tabelle 15: Einfache lineare und nichtlineare Regression: der Zusammenhang zwischen der in vivo Verdaulichkeit der OS und den Zellwandbestandteilen .....	51

Tabelle 16: Multiple lineare und nichtlineare Regression: der Zusammenhang zwischen der in vivo Verdaulichkeit der OS und der Zellwandbestandteile .....	53
Tabelle 17: Einfache lineare Regression: der Zusammenhang zwischen der in vivo Verdaulichkeit der OS und der Zellwandbestandteile .....	56
Tabelle 18: Multiple lineare Regression: der Zusammenhang zwischen der in vivo Verdaulichkeit der OS und der Zellwandbestandteile .....	57
Tabelle 19: Einfache lineare Regression: der Zusammenhang zwischen der in vivo Verdaulichkeit der OS und den Zellwandbestandteilen .....	58
Tabelle 20: Multiple lineare Regression: der Zusammenhang zwischen der in vivo Verdaulichkeit der OS und den Zellwandbestandteilen .....	60
Tabelle 21: TS-Verlust und Abbau der Zellwandbestandteile im Pansen nach 24 h Inkubation .....	64
Tabelle 22: Der Abbau der Zellwandkohlenhydratmonomere im Pansen .....	65
Tabelle 23: Der ADF-Abbau im Pansen in % zur ADF-Verdaulichkeit (in vivo).....	66
Tabelle 24: In vitro-Parameter aus der HFT- und Cellulasemethode.....	69
Tabelle 25: Der Zusammenhang zwischen der in vivo Verdaulichkeit der OS und der in vitro-Parametern .....	76
Tabelle 26: Bestimmtheitsmaß ( $\text{adj. } R^2$ ) und Standardfehler ( $S_{y.x}$ ) der Regressionsgleichungen zwischen in vivo-Meßwert und Schätzwert für die umsetzbare Energie (MJ/kg TS).....	77
Tabelle 27: Differenzen zwischen Energieschätzwert und –messwert (MJ ME/kg TS).....	79
Tabelle 28: Der Zusammenhang zwischen der in vivo-umsetzbaren Energie (ME) und der in vitro-Parameter in Abhängigkeit von der Nutzungsvariante .....	83
Tabelle 29: Charakterisierte Einzelpflanzen aus den Beständen und Verteilung nach Fläche, Nutzung und Schnitt .....	84
Tabelle 30: Rohnährstoffgehalte der Einzelgräser und Weißklee (Hauptbestandsbildner) ...	85
Tabelle 31: Zellwandbestandteile von Gräsern und Weißklee (Hauptbestandsbildner) .....	86
Tabelle 32: Kohlenhydratmonomere der Einzelgräser und Weißklee (Hauptbestandsbildner) .....	87
Tabelle 33: Phenolische Säuren von Gräsern und Weißklee (Hauptbestandsbildner).....	88
Tabelle 34: In vitro-Parameter und die geschätzte umsetzbare Energie (ME) von Gräsern und Weißklee (Hauptbestandsbildner) .....	91
Tabelle 35: Einfache und multiple lineare Regression der Gesamtheit der Einzelpflanzen (ohne Weißklee): der Zusammenhang zwischen geschätzter ME und Zellwandbestandteilen .....	92



Tabelle 36: Einfache und multiple lineare Regression der Gesamtheit der Einzelpflanzen (mit Weißklee): der Zusammenhang zwischen geschätzter ME und Zellwandbestandteilen.	93
Tabelle 37: Einfache lineare Regression der Einzelpflanzen: der Zusammenhang zwischen geschätzter ME und Zellwandbestandteilen .....	95
Tabelle 38: Einfluss des Weißkleeanteils auf die chemische Zusammensetzung und umsetzbare Energie der Gräserbestände [Kalkulation aus den gemessenen Gehaltswerten (Mittelwerte aller Messungen) für Gräser und Weißklee].....	100
Tabelle 39: Korrelation von chemisch-analytischen Parametern und in vivo- bzw. in vitro-Verdaulichkeit der organischen Substanz.....	104
Anhangstabelle 1: Flächendeckungsanteile der bestandsbildenden Pflanzengruppen, alle Flächen.....	127
Anhangstabelle 2: Flächendeckungsanteile einzelner Pflanzenarten (Fläche <b>5</b> ).....	128
Anhangstabelle 3: Flächendeckungsanteile einzelner Pflanzenarten (Fläche <b>6</b> ).....	129
Anhangstabelle 4: Flächendeckungsanteile einzelner Pflanzenarten (Fläche <b>7</b> ).....	130
Anhangstabelle 5: Der Ertragsanteil (%) vor jedem Schnitt aller Varianten und Flächen...	131
Anhangstabelle 6: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnittzeitpunkt, Fläche <b>5A</b> .....	132
Anhangstabelle 7: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnittzeitpunkt, Fläche <b>5B</b> .....	133
Anhangstabelle 8: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnittzeitpunkt, Fläche <b>5C</b> .....	134
Anhangstabelle 9: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnittzeitpunkt, Fläche <b>6A</b> .....	135
Anhangstabelle 10: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnittzeitpunkt, Fläche <b>6B</b> .....	136
Anhangstabelle 11: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnittzeitpunkt, Fläche <b>6C</b> .....	137
Anhangstabelle 12: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnittzeitpunkt, Fläche <b>7A</b> .....	138
Anhangstabelle 13: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnittzeitpunkt, Fläche <b>7B</b> .....	139
Anhangstabelle 14: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnittzeitpunkt, Fläche <b>7C</b> .....	140
Anhangstabelle 15: Erntezeitpunkte und Alter der Pflanzen bei der Ernte (Wuchsdauer <sup>1</sup> ). 141	

Anhangstabelle 16: In vivo- und geschätzte umsetzbare Energie (ME, MJ/kg TS) .....	142
Anhangstabelle 17: Rohrnährstoffgehalte der Pflanzenbestände aus dem 1. und 2. Schnitt in g/kg TS.....	143
Anhangstabelle 18: Die Gehalte an Zellwandbestandteile der Pflanzenbestände (1. Schnitt) .....	144
Anhangstabelle 19: Die Gehalte an Zellwandbestandteile der Pflanzenbestände (2. Schnitt) .....	145
Anhangstabelle 20: Die Gehalte an Hemicellulosemonomeren und phenolischen Säuren der Pflanzenbeständen (1. Schnitt) .....	146
Anhangstabelle 21: Die Gehalte an Hemicellulosemonomeren und phenolischen Säuren der Pflanzenbeständen (2. Schnitt) .....	147
Anhangstabelle 22: In vivo-Verdaulichkeit der Rohrnährstoffe und der Faserbestandteile (1. Schnitt).....	148
Anhangstabelle 23: In vivo-Verdaulichkeit der Rohrnährstoffe und der Faserbestandteile (2. Schnitt).....	149
Anhangstabelle 24: TS-Verlust und der Abbau der Zellwandbestandteile sowie phenolischen Säuren im Pansen, 1. Aufwuchs .....	150
Anhangstabelle 25: TS-Verlust und der Abbau der Zellwandbestandteile sowie phenolischen Säuren im Pansen, 2. Aufwuchs .....	151
Anhangstabelle 26: In vitro-Parameter, in vivo- und geschätzte umsetzbare Energie, 1. Aufwuchs .....	152
Anhangstabelle 27: In vitro-Parameter, in vivo- und geschätzte umsetzbare Energie, 2. Aufwuchs .....	153
Anhangstabelle 28: Der Gehalt an Rohrnährstoffe und Zellwanbestandteile ( <b>Deutsches Weidelgras</b> ).....	154
Anhangstabelle 29: Der Gehalt an Rohrnährstoffe und Zellwanbestandteile ( <b>Wiesenrispe</b> )	155
Anhangstabelle 30: Der Gehalt an Rohrnährstoffe und Zellwanbestandteile ( <b>Rotschwingel</b> ) .....	156
Anhangstabelle 31: Der Gehalt an Rohrnährstoffe und Zellwanbestandteile ( <b>Wiesenlieschgras</b> ) .....	157
Anhangstabelle 32: Der Gehalt an Rohrnährstoffe und Zellwanbestandteile ( <b>Rohrschwingel</b> ) .....	158
Anhangstabelle 33: Der Gehalt an Rohrnährstoffe und Zellwanbestandteile ( <b>Glatthafer</b> )..	159
Anhangstabelle 34: Der Gehalt an Rohrnährstoffe und Zellwanbestandteile ( <b>Weißklee</b> )....	160

Anhangstabelle 35: Der Gehalt an Hemicellulosemonomeren und phenolischen Säuren; der unlösliche Rest und netto Gasbildung aus HFT sowie die geschätzte umsetzbare Energie (ME) nach HFT und Rohrnährstoffgehalte .....	161
Anhangstabelle 36: Der Gehalt an Hemicellulosemonomeren und phenolischen Säuren; der unlösliche Rest und netto Gasbildung aus HFT sowie die geschätzte umsetzbare Energie (ME) nach HFT und Rohrnährstoffgehalte .....	162
Anhangstabelle 37: Der Gehalt an Hemicellulosemonomeren und phenolischen Säuren; der unlösliche Rest und netto Gasbildung aus HFT sowie die geschätzte umsetzbare Energie (ME) nach HFT und Rohrnährstoffgehalte .....	163
Anhangstabelle 38: Der Gehalt an Hemicellulosemonomeren und phenolischen Säuren; der unlösliche Rest und netto Gasbildung aus HFT sowie die geschätzte umsetzbare Energie (ME) nach HFT und Rohrnährstoffgehalte .....	164
Anhangstabelle 39: Der Gehalt an Hemicellulosemonomeren und phenolischen Säuren; der unlösliche Rest und netto Gasbildung aus HFT sowie die geschätzte umsetzbare Energie (ME) nach HFT und Rohrnährstoffgehalte .....	165

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleich der Rohnährstoffgehalte von Grasbeständen mit unterschiedlichen Kleeanteilen [G: 90 % Gräser und Klee grasvariante K: 35 % Weißklee; G1- und K1- Erntetermine: 10. Mai; G2- und K2-Erntetermine: 22. Mai].....	7
Abbildung 2: Schichtenbau der pflanzlichen Zellwand (vereinfacht, nach FRANZ, 1991) ..	11
Abbildung 3: Grundbausteine des Lignins (RICHTER, 1988) .....	13
Abbildung 4: Chemische Struktur der phenolischen Säuren pCA und FA (HESS, 1988).....	13
Abbildung 5: Bindungen von p-Cumarsäure (pCA) und Ferulasäure (FA) zu anderen Zellwandbestandteilen (JUNG, 1989) .....	14
Abbildung 6: Ablauf des Wachstums der verschiedenen Zellwandkomponenten mit der Reife der Pflanzen (TERASHIMA et al., 1993); [ML: Mittellamelle; CC: Cell Corner (Zellkerne); P: Primärwand; S: Sekundärwand] .....	16
Abbildung 7: Wirkung der Reife auf die chemische Zusammensetzung von Gräsern (BEEVER et al., 2000); Werte in % der TS .....	17
Abbildung 8: Durchschnittliche Tagestemperaturen und monatliche Niederschlagsmengen (Summe) am Versuchsstandort Blumberg 1996 .....	35
Abbildung 9: Durchschnittliche Tagestemperaturen und monatliche Niederschlagsmengen (Summe) am Versuchsstandort Blumberg 1997 .....	35
Abbildung 10: Durchschnittliche Tagestemperaturen und monatliche Niederschlagsmengen (Summe) am Versuchsstandort Blumberg 1998 .....	36
Abbildung 11: Ertragsanteile (%) der Gräser, Weißklee und Kräuter (1996-98) .....	37
Abbildung 12: Regression der in vivo Verdaulichkeit der OS zur ADF-Verdaulichkeit bei der Probengesamtheit und in Abhängigkeit vom Schnitt und der Nutzung .....	48
Abbildung 13: Regression der Verdaulichkeit der OS zu verschiedenen Zellwandbestandteilen (Probengesamtheit) .....	50
Abbildung 14: Regression der Verdaulichkeit der OS zu Zellwandbestandteilen, 1. Schnitt	55
Abbildung 15: Regression der Verdaulichkeit der OS zu ADF, Var. A .....	61
Abbildung 16: Regression der Verdaulichkeit der OS zu ADF, Var. A (1. und 2. Aufwuchs)	61
Abbildung 17: Regression des Abbaus im Pansen zur in vivo Verdaulichkeit (TS, ADF) für die Probengesamtheit.....	67
Abbildung 18: In vivo Verdaulichkeit der OS und der ADF-Abbau im Pansen.....	68
Abbildung 19: Gasbildung (HFT) in Abhängigkeit vom Jahr, Fläche und Nutzung .....	71

Abbildung 20: Regression der Verdaulichkeit der OS zu verschiedenen in vitro-Parametern (Probengesamtheit) .....	73
Abbildung 21: Regression der Verdaulichkeit der OS zu in vitro-Parametern, 1. Schnitt.....	74
Abbildung 22: Regression der Verdaulichkeit der OS zu in vitro-Parametern, 2. Schnitt.....	75
Abbildung 23: Regression der in vivo-ME zu in vitro-Parametern (Probengesamtheit) .....	80
Abbildung 24: Regression der in vivo-ME zu in vitro-Parametern, 1. Aufwuchs .....	81
Abbildung 25: Regression der in vivo-ME zu in vitro-Parametern, 2. Aufwuchs .....	82
Abbildung 26: Korrelation zwischen der Aufwuchsdauer und den Reifegraden.....	98
Abbildung A1: Ertragsanteile (%) der Hauptbestandsbildner bei Fläche 5 [Andere: Knautgras, Glatthafer, Löwenzahn, Distel u. a.] .....	166
Abbildung A2: Ertragsanteile (%) der Hauptbestandsbildner bei Fläche 6 [Andere: Löwenzahn, Knautgras, Schafgarbe, Distel u. a.] .....	167
Abbildung A3: Ertragsanteile (%) der Hauptbestandsbildner bei Fläche 7 [Andere: Löwenzahn, Schafgarbe, Distel, Rainfarn, Vogelmilch u. a.] .....	168
Abb. A4: Regression der Verdaulichkeit der OS zu Zellwandbestandteilen, Nutzung <b>A</b> ....	169
Abb. A5: Regression der Verdaulichkeit der OS zu Zellwandbestandteilen, Nutzung <b>A</b> ....	170
Abb. A6: Regression der Verdaulichkeit der OS zu Zellwandbestandteilen, Nutzung <b>B</b> ....	171
Abb. A7: Regression der Verdaulichkeit der OS zu Zellwandbestandteilen, Nutzung <b>B</b> ....	172
Abb. A8: Regression der Verdaulichkeit der OS zu Zellwandbestandteilen, Nutzung <b>C</b> ....	173
Abb. A9: Regression der Verdaulichkeit der OS zu Zellwandbestandteilen, Nutzung <b>C</b> ....	174

## Abkürzungsverzeichnis

ADF	Säure-Detergentien-Faser (Acid detergent fibre)
ADL	Säure-Detergentien-Lignin (Acid detergent lignin)
d	Arithmetisches Mittel der Differenzen
EFr	Energetischer Futterwert für Rinder
ELOS	Enzymlösliche organische Substanz
EuLOS	Enzymunlösliche organische Substanz
FA	Ferulasäure
FFS	flüchtige Fettsäuren
Gb	Gasbildung
HFT	Hohenheimer Futterwerttest
HPLC	High Performance Liquid Chromatography (Hochleistungsflüssigkeitschromatographie)
K	Kalium
LSD	Least-Significant-Differences
M	Mittelwert
ME	Metabolizable energy (Umsetzbare Energie)
MW	Messwert
N	Stickstoff
NDF	Neutral-Detergentien-Faser (Neutral detergent fibre)
NEL	Netto-Energie-Laktation
OS	Organische Substanz
P	Phosphor
pCA	p-Cumarsäure
R <sup>2</sup>	Bestimmtheitsmaß
sd	Standardabweichung der Differenzen
S <sub>y,x</sub>	Standardfehler
SW	Schätzwert
TS	Trockensubstanz
VQ <sub>OS</sub>	Verdaulichkeitsquotient der organischen Substanz
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
ZWK	Zellwandkohlenhydratmonomere

## 1 Einleitung und Problemstellung

Kenntnisse über die Energie- und Nährstoffgehalte von wirtschaftseigenem Grundfutter sind Voraussetzung zur effektiven Nutzung dieser Futtermittel im landwirtschaftlichen Betrieb. Unter den Grünfuttermitteln nehmen die Aufwüchse von Wiesen und Weideflächen eine wichtige Position ein.

Grosse Schwankungen im Nährstoff- und Energiegehalt dieser Futtermittel können ihren optimalen Einsatz erschweren. Die Gehaltswerte sind von einer Vielzahl von Faktoren, wie Pflanzenalter, Pflanzenart, Nutzung, Wachstumsstadium und von den Witterungsbedingungen abhängig.

Im Allgemeinen nehmen Pflanzenbestände mit zunehmendem Pflanzenalter im Energie-, Rohprotein- und einigen Mineralstoffgehalten ab, während sich die Zellwandbestandteile sowie die Einlagerung gerüstbildender Stoffe (Lignifizierung) verstärken. Damit verbunden ist eine Senkung der Verdaulichkeit (JILG und BRIEMLE, 1993).

In den letzten Jahren haben sich die Nutzungsbedingungen auf dem Grünland teilweise deutlich verändert. Diese Veränderungen sind geprägt durch eine Reduzierung der Nutzungsintensität mit dem Ziel des Umweltschutzes und der Landschaftspflege sowie der Erhaltung der Biodiversität.

Der Übergang von intensiver zu extensiver Nutzung ist mit großen Qualitätsveränderungen verbunden. Die Merkmale der Extensivierung sind eine deutlich verspätete Nutzung des ersten Aufwuchses (ab 1. Juli), ein Verzicht auf Stickstoff-Düngung und eine geringere Nutzungshäufigkeit (2-Schnittnutzung). Damit verbunden ist eine deutliche Veränderung des Pflanzenbestandes zugunsten von Leguminosen.

Innerhalb des Gräserbestandes nimmt der Anteil an widerstandsfähigen Untergräsern zu. Das drückt sich in Veränderungen der Futterqualität des geernteten Pflanzenmaterials aus (KÜHBAUCH, 1988; KITTMANN und KORNNHER, 1991; KÜHBAUCH et al., 1991; SPATZ et al., 1991; JILG und BRIEMLE, 1993; SÜDEKUM und SCHRÖDER, 1995).

Die Referenzmethode zur Bestimmung des energetischen Futterwertes von Grünfutter für Wiederkäuer ist der Verdauungsversuch an Schafen. Da diese Methode sehr aufwendig ist, wurde und wird schon lange nach einfachen Alternativen der Futterwertbestimmung gesucht. Dabei sind chemische Methoden und verschiedene in vitro bzw. in situ Methoden angewendet worden. Die bekanntesten Verfahren sind: Schätzmethode auf Basis der Rohnährstoffe, HFT- und Cellulase-Methode (ELOS und EuLOS). Die Methode auf Basis der Rohnährstoffe findet in der Praxis die größte Anwendung.

Die aus diesen Methoden entwickelten Schätzgleichungen können mit hoher Genauigkeit für intensiv erzeugtes Grünland angewendet werden.

Die Schätzgleichung auf Basis der Rohnährstoffe ist für Futter vom Grünland mit 1-2 Nutzungen und sehr spätem Nutzungstermin bei einem Verdaulichkeitsquotienten unter 0,6 nicht anwendbar (DLG, 1998).

Die Ursache dafür sind nicht lineare Veränderungen der Beziehung zwischen Rohfasergehalt und Verdaulichkeit im höheren Reifegrad.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es:

1. zu prüfen, ob die von uns gewählten Zellwandbestandteile (Xylose, Arabinose, pCA, FA, säurelösliches Lignin, Gesamtlignin sowie ADL:Gesamtlignin u. a.) über ein breites Spektrum der Nutzung von Grünlandbeständen eine engere Beziehung zur Verdaulichkeit der organischen Substanz haben als die Rohfasergehalte.

Dazu wurden diese Parameter analysiert und die Regressionsgleichungen zwischen den Gehalten und Verdaulichkeit bzw. dem Energiegehalt errechnet.

2. die umsetzbare Energie (ME) auf Basis der Rohnährstoffe und der in vitro Methoden (HFT und Cellulase) für die geprüften Pflanzenbestände zu berechnen und mit in vivo gemessenen Werten zu vergleichen.
3. durch die Sammlung und chemische Analytik, sowie die Bestimmung der Gasbildung der bestandsbestimmenden Einzelpflanzen deren Einfluss auf den Energiegehalt der geprüften Bestände zu erfassen.



## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Eigenschaften verschiedener Grünlandbestände

”Unter Grünland verstehen wir eine dauerhafte, von zahlreichen Pflanzenarten gebildete Vegetation mit relativ geschlossener Rasennarbe, die durch mehr oder weniger regelmäßige Mahd und/oder Beweidung gehölzfrei gehalten wird und entweder der Futter- oder Streugewinnung in der Landwirtschaft dient” (WOLF und BRIEMLE, 1989). Zu Grünland im engeren Sinne gehören Wiesen und Weiden, also Wirtschaftsgrünland zur Futtergewinnung, das sich im wesentlichen aus Frisch-Wiesen und -Weiden, sowie Feuchtwiesen zusammensetzt.

#### 2.1.1 Unterschiedliche Nutzungsformen

Grünland mit hoher Nutzungshäufigkeit (3-5 Schnitte pro Jahr) und einem hohen Pflege- und Düngeaufwand wird als Intensivgrünland bezeichnet.

Die erste Ernte richtet sich nach dem Zeitpunkt der Weidereife und erfolgt möglichst früh. Die Folgeschnitte werden nach dem Entwicklungsstand der Pflanzengesellschaft durchgeführt. Nach jedem Schnitt erfolgt in der Regel eine Düngung mit Stickstoff, Phosphor und Kalium.

Intensivgrünland besteht fast ausschließlich aus Gräsern. Die am häufigsten genutzten Arten sind: Deutsches oder Welsches Weidelgras (*Lolium*), Knautgras (*Dactylis glomerata*), Lieschgras (*Phleum*) und Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*). Wenn Kräuter auftreten, dann können nur Weißklee (*Trifolium repens*) und Löwenzahn (*Taraxacum officinale*) eine intensive Bewirtschaftung vertragen.

Auf intensiv genutzten Beständen ist die Artenzahl der Hauptbestandsbildner auf eins bis zwei begrenzt. Die Erträge sind hoch (> 90 dt/ha) (WOLF und BRIEMLE, 1989).

Eine Extensivierung kann Veränderungen unterschiedlicher Nutzungsparameter beinhalten. In der Regel bedeutet es eine Senkung der Nutzungshäufigkeit auf 2 Schnitte mit einem späten ersten Schnitt (nach dem 1. Juli). Diese Nutzungsform wird in der vorliegenden Arbeit als ”extensive Nutzung” bezeichnet. Weiterhin wird der Düngeaufwand stark reduziert; meist erfolgt keine Stickstoffdüngung.

Als Ergebnis dieser Nutzung ist der Ertrag deutlich niedriger als bei intensiver Nutzung, nämlich zwischen 30 und 50 dt TS/ha. Die Artenvielfalt wird erhöht.

Neben den Gräsern sind Leguminosen und Kräuter zu wesentlich höheren Anteilen vertreten. Besonders der Kleeanteil steigt mit fehlender N-Düngung (ELSÄSSER und BRIEMLE, 1992).

Mehrere Autoren (WOLF und BRIEMLE, 1989; DAHMEN und KÜHBAUCH, 1990; ELSÄSSER und BRIEMLE, 1992; GRUBER et al., 1997; KÜHBAUCH et al., 1994) untersuchten die Veränderungen von Pflanzenbeständen beim Nutzungswechsel von der intensiven zur extensiven Bewirtschaftung. Folgende Ergebnisse lassen sich zusammenfassend formulieren: Die Nutzungsänderung ist ein Prozeß, der mehrere Jahre (mindestens 3) in Anspruch nimmt. Die Veränderungen im Pflanzenbestand sind nicht exakt vorherzusagen. Sie hängen hauptsächlich vom ursprünglichen Pflanzenbestand und der Witterung ab. Generell ist eine Verschiebung zu mehr Leguminosen und Kräutern zu verzeichnen. Während des Extensivierungsvorganges sinken die Erträge und der Deckungsgrad zunächst stark ab, um dann wieder stetig anzusteigen.

Bei der Berücksichtigung von Ergebnissen zur Futterwertbestimmung von Extensivgrünland muss daher das Stadium und die Art der Extensivierung berücksichtigt werden.

#### 2.1.2 Einflussfaktoren auf die Qualität der Bestände

Die Pflanzenzusammensetzung, der Reifegrad der Pflanzen zur Ernte, die Düngung und die Nutzungshäufigkeit sind neben der Witterung die qualitätsbestimmenden Faktoren auf das Grünland.

Bis auf die Witterung besteht ein enger Zusammenhang der genannten Faktoren mit der Nutzungsart. Somit wird die Qualität der Bestände in entscheidendem Maße durch die Nutzung bestimmt. In Tab. 1 ist der Zusammenhang verschiedener Parameter mit der Nutzungsart dargestellt.

Wie aus Tab. 1 ersichtlich, gibt es deutliche Unterschiede zwischen den qualitätsbeeinflussenden Parametern und der Nutzungsart. Bei der intensiven Nutzung wird die Qualität hinsichtlich der Pflanzenzusammensetzung hauptsächlich durch die Gräser bestimmt. Da meist hochwertige Gräser genutzt werden, hat das Pflanzenalter bzw. der Reifegrad der Pflanzen den größten Einfluss auf die chemische Zusammensetzung (BURGSTALLER, 1988; SPATZ et al., 1991; HOCHBERG et al., 1994). Im Vergleich zur extensiven Nutzung werden die Pflanzen in früheren Reifestadien geerntet. In extensiven Aufwüchsen befindet sich die Mehrzahl der Pflanzen beim ersten Schnitt in einem späten Reifegrad (nach der Blüte), allerdings existieren teilweise bereits junge, nachwachsende Pflanzen, die mengenmäßig meistens unbedeutend sind. Im 2. Schnitt sind die Pflanzen zur Ernte jünger. Neben den Gräsern finden sich im Extensivgrünland noch bemerkenswerte Mengen an Leguminosen (meist Weißklee) und verschiedene Kräuter.

Verbunden mit einem Anstieg des Artenreichtums sind die Qualitätsveränderungen mit der Wuchsdauer nicht so ausgeprägt. Diese Bestände werden als "nutzungselastisch" bezeichnet (WOLF und BRIEMLE, 1989).

Die chemische Zusammensetzung von Gräsern im Verlaufe des Reifeprozesses ändert sich wie am Beispiel der Tab. 2 dargestellt ist.

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen verschiedenen Parametern der Nutzung und der Nutzungsart

Parameter	<b>Intensive Nutzung</b>	<b>Extensive Nutzung</b>
Pflanzenzusammensetzung	Gräser, Leguminosen, Kräuter	Gräser, Leguminosen, Kräuter (meist artenreicher)
Gräserspezies (Hauptbestandsbildner)	Weidelgras, Knautgras, Lieschgras und Wiesenschwingel	Wiesenlieschgras, Glatthafer, Rohrschwingel, Rohrglanzgras, Quecke
Leguminosen, Kräuter	Weißklee, Löwenzahn geringe Mengen	Weißklee u. a. und zahlreiche Arten von Kräutern
Nutzungshäufigkeit	drei- bis fünfmal	ein- bis max. dreimal
Termine der Ernten		
1. Schnitt	vom Zeitpunkt der Weidereife abhängig	nach dem 1. Juli
Folgeschnitte	vom Entwicklungsstand der Pflanzen abhängig	später Sommer
Reifegrade		
Zum 1. Schnitt	Weidereife (I bis IV)	Ende Blüte bis Gelbreife (meist V bis VII)
Bei Folgeschnitten	Weidereife (I bis IV)	Weidereife bis Ende Blüte (I bis VI)
Düngung	N, P und K nach jeder Mahd	nur P und K

I: Oberster Halmknoten befindet sich etwa 10 cm über dem Erdboden; ...IV: Rispen voll ausgeschoben; V: Blüte; VI: Ende Blüte; VII: Gelbreife, Halme vergilben

Tabelle 2: Veränderungen des Nährstoffgehaltes von Gras im Verlauf der Reife (Wiese, grasreich, 1. Schnitt)

Vegetations- zustand	TS in %	XP in %	XF TS	VQ <sub>os</sub> in %	MJ NEL/ kg TS
vor Ähren-/ Rispschieben	17	19,5	20,5	80	6,9
im Ähren-/ Rispschieben	18	17,0	23,8	75	6,3
Beginn bis Mitte der Blüte	21	14,5	27,2	67	5,6
Ende der Blüte	23	12,1	31,1	61	4,9

(DLG-Tabelle, 1982; BURGSTALLER, 1988); TS: Trockensubstanz; XP: Rohprotein; XF: Rohfaser; VQ<sub>os</sub>: Verdaulichkeitsquotient der organischen Substanz; NEL: Netto-Energie-Laktation.

Vergleichbare Werte hinsichtlich der Verdaulichkeit werden auch für einzelne Gräserpezies beschrieben.

Ähnliche Tendenzen der Veränderung der chemischen Zusammensetzung ergeben sich auch für Leguminosen, wie Weißklee. Jedoch sind die Veränderungen nicht so stark ausgeprägt. Weiterhin ist der Rohproteingehalt höher und der Fasergehalt niedriger als bei Gräsern, was mit einem höheren Energiegehalt bei vergleichbarem Reifestadium einhergeht.

TAUBE et al. (1990) haben die Veränderungen der Rohnährstoffe im Wachstumsverlauf von Dauergrünlandbeständen (G: Grasbestand, K: Weißklee-grasbestand) untersucht.

Im Zuwachsverlauf fiel der Rohproteingehalt bei der Grasvariante (G: 95 % Gras) deutlich schneller ab als bei der Kleevariante (K: 44 % Weißklee). Entsprechend stieg aber der Gehalt an Säure-Detergentien-Faser (ADF) insgesamt höher als bei der Kleevariante. Auch in diesem Versuch wurde die Entwicklung der Rohprotein- und der ADF-Gehalte der Einzelfractionen Gras (Deutsches Weidelgras) bzw. Weißklee berücksichtigt. Mit dem Zuwachsverlauf nahm der Rohproteingehalt bei Weißklee langsamer ab und der ADF-Gehalt langsamer zu als bei Gras. Die veränderte Bestandszusammensetzung von extensiv erzeugtem Grünland mit einem erhöhten Kleeanteil kann die negative Wirkung der hohen Pflanzenreife zur Ernte durch den höheren Futterwert des Leguminosenbestandteils reduzieren. Allerdings kann zu keinem Zeitpunkt eine adäquate Qualität erzeugt werden.

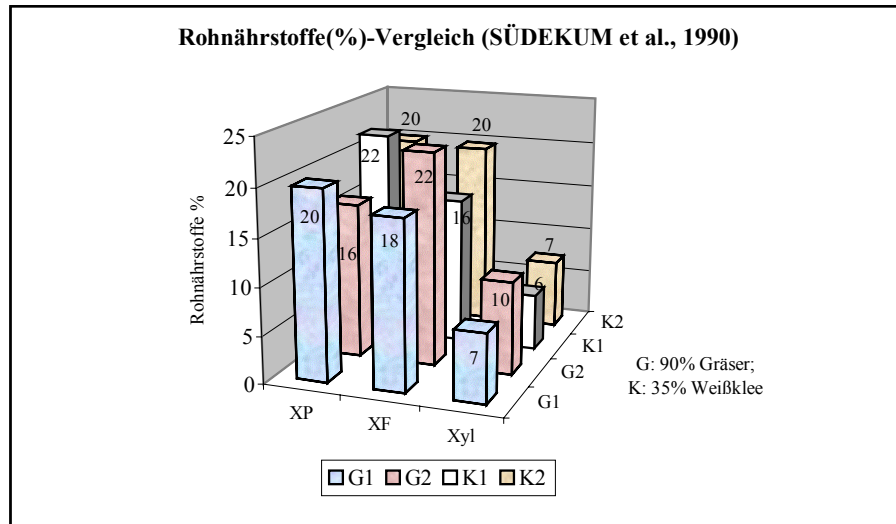


Abbildung 1: Vergleich der Rohnährstoffgehalte von Grasbeständen mit unterschiedlichen Kleeanteilen [G: 90 % Gräser und Klee grasvariante K: 35 % Weißklee; G1- und K1- Erntetermine: 10. Mai; G2- und K2- Erntetermine: 22. Mai]

Zum gleichen Erntetermin sind der Rohfaser- und Xylosegehalt bei der Grasvariante (G: 90 % Gräser) höher als bei der Klee grasvariante (K: 35 % Weißklee) mit entsprechend niedrigerem Rohproteingehalt (Abb. 1, SÜDEKUM et al., 1990).

Kräuter können sich sowohl positiv als auch negativ auf den Futterwert auswirken. Einige Kräuter zeichnen sich durch hohe Schmackhaftigkeit und vergleichsweise hohen Futterwert aus, dagegen zeigen andere Kräuter durch antinutritive Substanzen toxische Eigenschaften. So kann z.B. Johanniskraut (*Hypericum spec.*) bei Schafen zu einer Photoallergie führen (BEHRENS et al., 1983). Das Tobinamburkraut (*Helianthus tuberosus L.*) und die Phacelia (*Phacelia tanacetifolia Benth.*) sind stark behaart und werden von Rindern nicht gern gefressen. Der gemeine Löwenzahn (*Taraxacum officinale*) wird von Rindern und anderen Weidetieren gut gefressen, und sein Futterwert ist recht hoch. In großen Mengen (Löwenzahn > 10 % Ertragsanteil) werden jedoch Verdauungsstörungen verursacht. Auch der Geschmack der Milch wird durch einen hohen Löwenzahnanteil beeinträchtigt. Die Verdauungsstörungen werden vermutlich durch den Bitterstoff Taraxacin ausgelöst (ROTH et al., 1988). Auch Sauerampfer (*Rumex acetosa*) von ca. > 5 % Ertragsanteil kann Verdauungsstörungen auslösen (STÄHLIN, 1971).

Mit geringer Nutzungshäufigkeit sinkt der Energiegehalt und der Rohproteingehalt der Pflanzen bei steigendem Rohfasergehalt (Tabelle 3, KÄDING et al. 1993). Ähnlich zeigten auch KÄDING und KREIL (1990) die Energiekonzentration in Abhängigkeit von Schnitthäufigkeit und Schnittermin. Bei Fünfschnittnutzung im Jahr ist die Energiekonzentration (EFr/kg TS) höher als bei Zwei- und Dreischnittnutzung.

Tabelle 3: Inhaltsstoffe (g/kg TS) verschiedener Grasbestände auf Niedermoor in Abhängigkeit von der Nutzungshäufigkeit

Grasart	Nutzungs- häufigkeit	Rohprotein	Rohfaser	Rohasche	NEL MJ/kg TS
Knautgras	5x	177	249	84	6,55
	3x	154	288	73	5,99
	2x	139	312	66	5,61
Wiesenschwingel	5x	198	247	82	6,60
	3x	166	272	71	6,29
	2x	140	295	65	5,94
Wiesenlieschgras	5x	175	255	69	6,59
	3x	151	280	62	6,24
	2x	110	324	52	5,50
Deutsches Weidelgras	5x	200	235	104	6,57
	3x	143	240	87	6,66
	2x	143	283	75	6,06
Rohrglanzgras	5x	229	222	89	6,90
	3x	190	273	78	6,21
	2x	144	308	73	5,62

KÄDING et al. 1993; NEL: Netto-Energie-Laktation.

Temperatur, Licht und Niederschläge üben einen großen Einfluss auf Wachstum und die Entwicklung der Pflanzen sowie auf deren Ertragsbildung und auf die Ausbildung der Inhaltsstoffe aus.

Mit steigender Temperatur (bis zum günstigsten Temperaturbereich: 20-25°C) nehmen Rohfaser- und Trockenmassegehalte sowie der Trockenmasseertrag zu und die Gehalte an Rohprotein und wasserlöslichen Kohlenhydraten bzw. die Energiekonzentration ab (VOIGTLÄNDER und JACOB, 1987; BARON, 1994; NELSON und MOSER, 1994). Die höhere Lichtintensität führt zu höheren Gehalten an Trockensubstanz, Trockensubstanzertrag und zu geringeren Gehalten an Rohprotein und Rohfaser.

Ursache für die höheren Erträge ist die gesteigerte Photosyntheserate bei erhöhter Strahlenintensität und Temperatur zwischen 20 und 25°C (NELSON und MOSER, 1994). Geringe Temperatur führt zu niedriger Lignifizierung und zu höherer Verdaulichkeit. Mit zunehmender Temperatur steigt der ADF-, Cellulose- und Ligningehalt an.

Bei Temperaturanstieg von ca. 15 auf 25 °C nahm bei *Lolium perenne* der TS-Ertrag um 35%, der Gehalt an Trockenmasse um 16 % und Rohfaser um 30 % zu, der Rohproteingehalt um 39 % und wasserlösliche Kohlenhydrate um 56 % ab. Die höhere Lichtintensität (von niedrig = 0,375 kJ cm<sup>-2</sup> Tag<sup>-1</sup> auf hoch = 2,042 kJ cm<sup>-2</sup> Tag<sup>-1</sup>) führt bei *Lolium perenne* unter Temperaturen zwischen 20-25 °C zum Anstieg des TS-Ertrages um 52 %, der Gehalte an Trockenmasse um 45 % und an wasserlöslichen Kohlenhydraten um 61 %. Die höhere Lichtintensität führt aber zum geringen Abfallen der Gehalte an Rohfaser und starken Absinken der Rohproteingehalte (VOIGTLÄNDER und JACOB, 1987).

### 2.1.3 Charakteristik der Hauptbestandsbildner der eigenen Untersuchung

In den folgenden Tabellen (Tab. 4 und 5) sind die Hauptbestandsbildner auf den untersuchten eigenen Versuchsflächen und deren Charakteristik nach Tabellenwerten dargestellt.

Wiesenrispe (*Poa pratensis*) war vor Versuchsbeginn Hauptbestandsbildner der Fläche 5. *Poa pratensis* ist durch einen hohen Blattanteil und geringen Halmanteil als gutes Futtergras gekennzeichnet. Darüber hinaus erbringt es gute Erträge. Allerdings ist es verdrängungsgefährdet und kann durch wuchsstarke Arten teilweise verdrängt werden. Die Ertragsleistung ist stark von einer bedarfsgerechten N-Düngung abhängig.

Mit 80 % Ertragsanteil war Wiesenlieschgras *Phleum pratense* Hauptbestandsbildner der Nutzungsfläche 6. Vom Futterwert ist *Phleum pratense* sowohl hinsichtlich Ertrag als auch bezüglich des Halm:Blatt-Verhältnisses nicht so günstig, wie *Poa pratensis* einzuschätzen. Durch den hohen Halmanteil ist es sehr trittfest und für Weiden gut geeignet.

Die geringste Futterqualität hat Rohrschwengel, der zu Versuchsbeginn zu 99 % die Fläche 7 repräsentierte.

In den Tabellen sind die einzelnen hauptbestandsbildenden Gräser und Kräuter hinsichtlich ihrer Eigenschaften (Tabelle 4) und ihrer durchschnittlichen Nährstoffgehalte (Tabelle 5) bei etwa gleichem Reifegrad aufgezeigt.

Tabelle 4: Beschreibung der Hauptbestandsbildner der Grünlandbestände

Pflanzenart	Vorkommen Fläche	Wertzahl*	Standortangaben	Wuchsform	besondere Eigenschaften
Rohrschwengel <i>Festuca arundinacea</i>	7	4	basisch bis neutral auf feuchtem Grünland	Horstgras	Bodenverdichtungsanzeiger ungepflegte Weiden
Wiesenrispe <i>Poa pratensis</i>	5 und 6	8	basisch bis sauer trockene - feuchte Böden	rasenbildend	düngedankbar; weidefest; wertvoll
Wiesenlieschgras <i>Phleum pratense</i>	6	8	frisch bis wechselfeucht	horstbildendes Obergras	spätblühend; langsame Entwicklung
Deutsches Weidelgras <i>Lolium perenne</i>	alle	8	neutral; frische bis wechselfeuchte, schwere Böden	rasenbildendes Hortgras	weidefest, nicht winterhart
Glatthafer <i>Arrhenatherum elatius</i>	6	7	basisch bis sauer; mäßig trocken bis wechselfeucht	horstbildendes Obergras	nicht weidefest, sowohl bei guter Düngung als auch bei extensiver Nutzung
Weißklee <i>Trifolium repens</i>	alle	8	basisch bis sauer; mäßig trocken bis sehr feucht; P- und K-Düngung erforderlich	Ausläuferkräut	weidefest

\* Die Wertzahl beinhaltet neben einer Klassifizierung des Futterwertes auch die Einschätzung der Ertragsfähigkeit und der Ausdauer. Die Werte liegen zwischen 1 und 8. Pflanzen ohne Nutzwert werden mit 0 bezeichnet und Schad- oder Giftpflanzen mit -1.

Tabelle 5: Durchschnittliche Rohnährstoffgehalte (Tabellenwerte, DLG Tabellen, 1997) der Hauptbestandsbildner bei etwa gleichen Reifegraden (Beginn Ährenschieben und Beginn der Blüte, und im 2. Aufwuchs 7-9 Wochen Aufwuchszeit) in g/kg TS

Pflanzenart	XA	XP	XL	XF	VQ <sub>OS</sub> %	ME MJ/kg TS
Rohrschwengel	87 <sup>a</sup>	151	40	251	67	9,51
<i>Festuca arundinacea</i>	86 <sup>b</sup>	128	36	296	65	9,05
	93 <sup>c</sup>	157	41	274	62	8,81
Wiesenrispe	72	215	52	220	79	11,67
<i>Poa pratensis</i>	57	125	44	274	66	9,76
	59	137	47	274	68	9,99
Wiesenlieschgras	75	171	42	211	81	11,62
<i>Phleum pratense</i>	78	119	39	308	71	9,97
	94	148	56	288	74	10,64
Deutsches Weidelgras	109	197	51	221	82	11,60
<i>Lolium perenne</i>	107	157	40	256	77	10,56
Glatthafer	85	140	-	270	75	-
<i>Arrhenath. elatius</i>						
Weißklee	111	256	39	148	81	11,55
<i>Trifolium repens</i>	117	229	32	188	80	11,05
	117	240	39	182		10,69

Glatthafer: Beginn des Blütenstandschiebens (1. Aufwuchs, 100 kg N/ha); In jedem Block: Erste Zeile entspricht dem ersten Schnitt beim Beginn der Ährenschieben; Zweite Zeile entspricht dem ersten Schnitt beim Beginn der Blüte; Dritte Zeile entspricht dem zweiten Schnitt bei der Aufwuchszeit von 7-9 Wochen. XA: Rohasche; XP: Rohprotein; XL: Rohfett; XF: Rohfaser; VQ<sub>OS</sub>: Verdaulichkeitsquotient der organischen Substanz; ME: Umsetzbare Energie.

## 2.2 Faserbestandteile und deren Einfluss auf den Futterwert

### 2.2.1 Aufbau der pflanzlichen Zellwand

Die Veränderungen der Futterqualität von Rauhfutter sind eng an die Struktur der pflanzlichen Zellwand gebunden. Die Zellwand besteht zum großen Teil aus Kohlenhydraten sowie zu geringeren Anteilen an Protein und Lignin. Die Kohlenhydrate der Zellwand liegen in hochpolymerer Struktur vor. Es sind Cellulose, Hemicellulosen und Pektine.

Die Bestandteile der Zellwand sind die Mittellamelle, die Primär- und Sekundärwand. Im Verlaufe des Pflanzenwachstums werden zuerst die Mittellamelle und die Primärwand angelegt. Anschließend erfolgt das Wachstum der Sekundärwand in das Innere der Zelle hinein. Der schematische Aufbau der Zellwand und die Verteilung der Kohlenhydrate in dieser ist in Abb. 2 dargestellt.



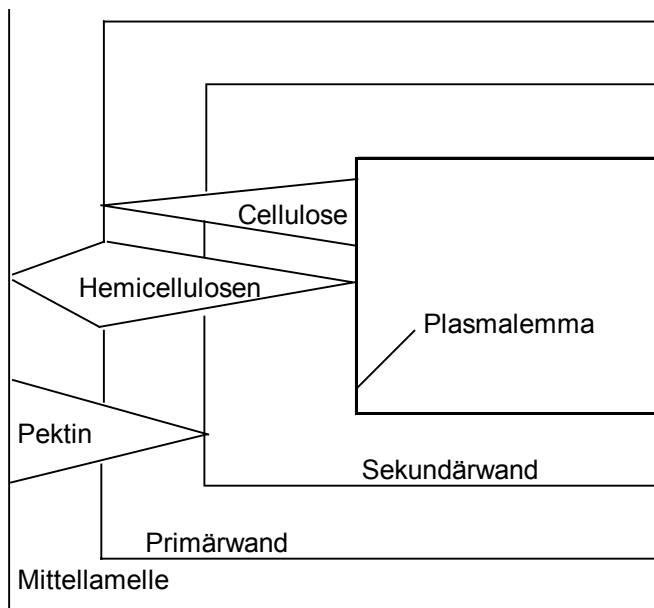


Abbildung 2: Schichtenbau der pflanzlichen Zellwand (vereinfacht, nach FRANZ, 1991)

Pektin kommt in der Primärwand und hauptsächlich in der Mittellamelle vor. Die Primärwand enthält mehr Hemicellulosen als die Sekundärwand. Im Gegensatz zu Hemicellulosen ist der Gehalt an Cellulose in der Primärwand geringer als in der Sekundärwand (s. Abb. 2).

Die Verteilung und Gehalte der Kohlenhydratpolymere in der pflanzlichen Zellwand ist stark von der Pflanzenart abhängig.

Pektinstoffe sind in der Primärwand der Dikotyledone (Leguminosen) in hoher Konzentration vorhanden. Nur geringe Anteile befinden sich in der Primärwand der Gramineae (ÅMAN, 1993; CHESSON, 1993).

Bei den Dikotyledone sind die Hauptbestandteile der Primärwand Cellulose und Xyloglukane. In der Sekundärwand befinden sich neben Cellulose höhere Konzentrationen an Xylanen und Lignin.

Bei den Gräsern ist in der Primärwand dagegen der Anteil der Xyloglukane sehr gering. Die Hauptpolysaccharide sind Arabinoxylane, Glucuronoarabinoxylane, Cellulose und  $\beta$ -Glukane. In der Sekundärwand der Gräser dominieren ebenfalls Cellulose, Xylane und Lignin (ÅMAN, 1993).

### 2.2.1.1 Cellulose

Cellulose ist ein lineares Polymer aus Glucosemonomeren, welches aus unverzweigten Molekülketten mit Kettenlängen von 10 000 - 15 000 Glucoseeinheiten besteht (FENGEL, 1985), die  $\beta$ -1,4-glycosidisch miteinander verknüpft sind. Im Gegensatz zur  $\alpha$ -glycosidischen Bindung ist diese  $\beta$ -Bindung schwer hydrolytisch spaltbar. Außerdem verfügen die Tiere über keine eigenen Verdauungsenzyme, um  $\beta$ -glycosidische Bindungen zu hydrolysieren, weshalb sie diese Stoffe nicht nutzen können oder dafür auf bakterielle Enzyme angewiesen sind.

In der Primärwand sind Cellulose-Mikrofibrillen in eine Matrix aus Hemicellulosen, Pektinstoffen und Wandprotein eingelagert. An Cellulose-Mikrofibrillen setzen zunächst Xyloglukane, also Hemicellulosen an. Die Bindungen zwischen den Xyloglukanen und den Cellulose-Mikrofibrillen sind relativ schwach, da es sich um H-Brücken handelt.

Die durch chemische Analyse erfasste Cellulosefraktion der Futterpflanzen enthält außer  $\beta$ -1,4-Glukane noch etwa 15 % Pentosane (hauptsächlich Xylose und etwas Arabinose) und

andere Substanzen (Cutin und SiO<sub>2</sub>) (VAN SOEST, 1994). Die Cellulose-Konzentration ist in der Zellwand von Leguminosen höher als in der Zellwand von Gräsern.

#### 2.2.1.2 *Hemicellulosen*

Die Hemicellulosen sind der zweite Hauptbestandteil der pflanzlichen Zellwand. Die Kohlenhydratbausteine gehören zu den Hexosen, Pentosen, Hexuronsäuren und zu den Desoxyhexosen. Die Einteilung der Hemicellulosen erfaßt die chemischen Bausteine: Xylane, Mannane, Galaktane, Glukane und Arabinane.

Anhand der vorherrschenden Monosaccharide können Hemicellulosen in Pentosane und Hexosane eingeteilt werden. Pentosane bestehen hauptsächlich aus den Pentosen Xylose und Arabinose und die Hexosane aus den Hexosemonomeren Glucose und Mannose (Glucomannane). Neben den Kohlenhydratmonomeren sind auch die Säuren (Uronsäuren) und Desoxyhexosen Bestandteile der Hemicellulosen.

In Gräsern und Leguminosen bestehen Hemicellulosen zum größten Teil aus Arabinoxylan (VAN SOEST, 1994). Neben diesem befinden sich Xyloglukane in Mono- und Dikotyledonen (WILKIE, 1979). Weitere Bestandteile der Hemicellulosen der Dikotyledone sind Arabinane und Galaktane.

Die Xylane in Gräsern bestehen aus verknüpften Xylose-Einheiten als Hauptkette, mit kurzen Seitenketten, die Arabinose ( $\alpha$ -1,3 mit der Hauptkette verknüpft), Glukuronsäure und 4-O-Methyl-Glukuronsäure-Reste enthalten (WILKIE, 1979). Im Grasxylan sind häufig Acetylgruppen durch Esterbindung mit den Kohlenhydraten verbunden. Die Acetylgruppen befinden sich meist an der 2-O- und 3-O-Position auf dem Xyloserest bzw. an der 5-O-Position der L-Arabinose-Seitenkette (HESPELL und WHITEHEAD, 1990).

Bei der typischen Dikotylenwand besteht die Hemicellulosefraktion hauptsächlich aus Xyloglucan. Xyloglucane weisen eine Hauptkette von  $\beta$ -1,4-verknüpften Glucoseresten auf. Sie tragen 1,6-gebundene Xylosereste, weiterhin D-Galaktose und L-Fucoseeinheiten als Seitenketten (ÅMAN, 1993). Die Xyloglucane können über Wasserstoff-Brücken an Cellulose gebunden sein. In den Zellwänden der Gräser kommen Xyloglucane nur in Spuren vor.

Acetylgruppen als integrale Bestandteile der Zellwände von Gräsern sind bisher wenig beachtet worden. Auch WAITE und GORRDON (1959 a, b), BACON et al. (1975), MORRIS und BACON (1977) sowie MORRIS (1980) haben Acetylgruppen in Gräsern analysiert und dabei in Analogie zu den Laubhölzern festgestellt, daß sie an die Xyloseeinheiten der Hemicellulosen gebunden sind.

#### 2.2.1.3 *Lignin und phenolische Säuren*

Lignin als wesentlicher Nicht-Kohlenhydratbestandteil vieler pflanzlicher Zellwände wird in Futterpflanzen aus drei verschiedenen Phenylpropan-Monomeren synthetisiert (HARKIN 1973): p-Cumaryl-, Coniferyl- und Sinapyl-Alkohol (s. Abb. 3). Die Mengenverhältnisse dieser drei Komponenten können je nach dem Alter und der Art der Pflanze stark verschieden sein. Die Dicotyledonen enthalten in ihrem Lignin vor allem Coniferyl- und Sinapyl-Alkohol, nur wenig p-Cumaryl-Alkohol. Kennzeichnend ist der hohe Anteil an Sinapyl-Alkohol, der denjenigen an Coniferyl-Alkohol sogar übersteigen kann. Das Lignin der Monocotyledonen (Gräser) ist durch einen hohen Prozentsatz an p-Cumaryl-Alkohol charakterisiert. Coniferyl- und Sinapyl-Alkohol treten zurück.

Die Synthese des Lignins und die Inkrustierung von Zellwänden mit Lignin werden als Verholzung bezeichnet. Im Allgemeinen befinden sich die Ligningehalte mehr im Stengel als

in Blättern (BRICE und MORRISON, 1982; TWIDWELL et al., 1988; BUXTON, 1990; JUNG und VOGEL, 1992). Die Zusammensetzung des Lignins variiert bei den verschiedenen Pflanzengruppen erheblich. Zwar findet man stets alle drei Bausteintypen, aber in unterschiedlicher Relation.

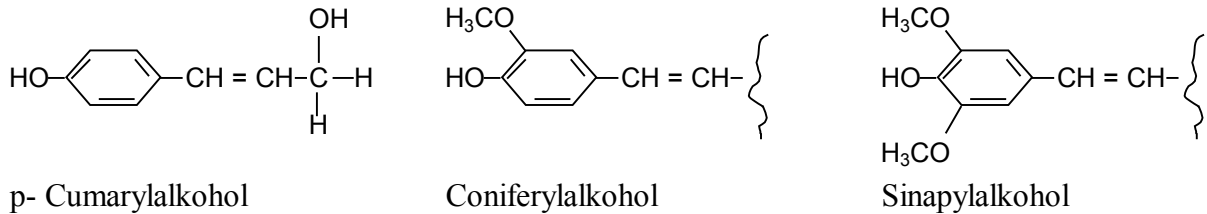


Abbildung 3: Grundbausteine des Lignins (RICHTER, 1988)

Lignin hat in der Zellwand als Inkrustierung zwischen den Cellulosefibrillen vor allem Stützfunktionen. Es ist kovalent mit den Zellwandkohlenhydraten (vor allem den Hemicellulosen) verknüpft, wie MORRISON (1973, 1974) für Welsches Weidelgras (*Lolium multiflorum*) und Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*) zeigen konnte.

Für die Quervernetzung der hochkondensierten Phenylpropan-Einheiten des Lignins - von GORDON und NEUDOERFFER (1973) als "Kern-Lignin" bezeichnet - mit den Zellwandkohlenhydraten sorgen phenolische Säuren (s. Abb. 4).

Die zwei Hauptvertreter der phenolischen Säuren sind Ferulasäure und p-Cumarsäure (p-Hydroxyzimtsäure). Sie wurden von GORDON (1975) als "Nicht-Kern-Lignin" bezeichnet. HARTLEY und JONES (1977) isolierten die beiden wichtigsten phenolischen Säuren Ferula- und p-Cumarsäure in Gräsern und Leguminosen.

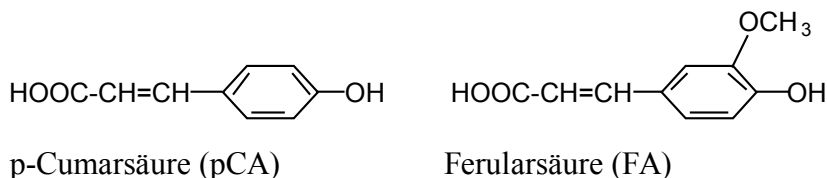


Abbildung 4: Chemische Struktur der phenolischen Säuren pCA und FA (HESS, 1988)

P-Cumarsäure und Ferulasäure sind bifunktional und können über die beiden funktionellen Gruppen (Hydroxylgruppe und Carboxylgruppe) gleichzeitig Ester- und Etherbindungen eingehen. Bei der Quervernetzung besteht zu Lignin eine Etherbindung über die phenolische Gruppe und über die Carboxylgruppe eine Esterbindung mit dem Arabinosesubstituenten des Arabino-glukuronoxylans (SCALBERT et al. 1985). Ein Beispiel für die Bindungsmöglichkeiten zeigt Abb. 5. Als weitere mögliche Bindungsart beschreiben SCALBERT et al. (1985) C-C-Bindungen zwischen FA und Lignin.

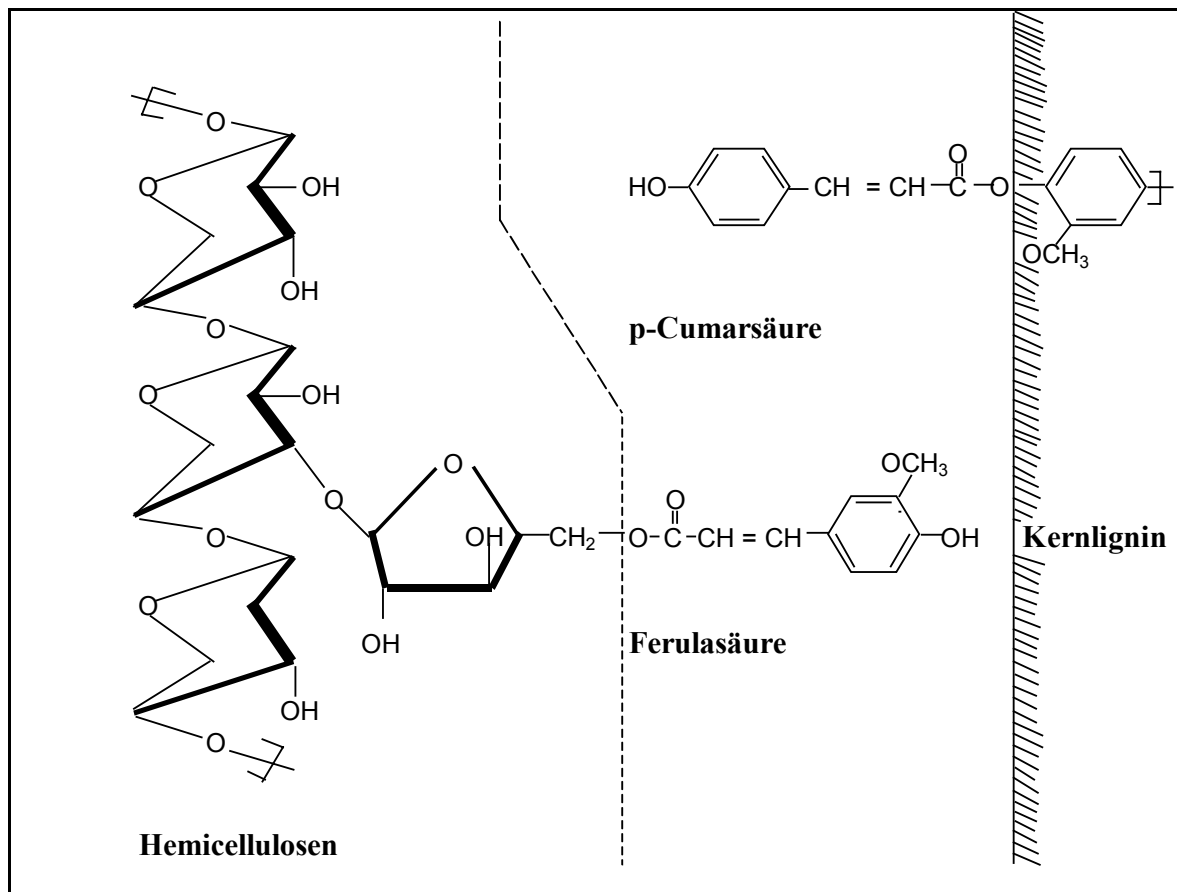


Abbildung 5: Bindungen von p-Cumarsäure (pCA) und Ferulasäure (FA) zu anderen Zellwandbestandteilen (JUNG, 1989)

Die p-Cumarsäure (pCA)- und Ferulasäure (FA)-Gehalte verschiedener Gräserarten sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Die Gehalte an phenolischen Säuren sind in Abhängigkeit von der Pflanzenspezies und dem Grasbestandteil, Halm oder Blatt, sehr unterschiedlich. In der Regel ist die Konzentration in den Stengeln höher als in den Blättern, besonders für die pCA (LOWRY et al., 1993).

Die Bildung der phenolischen Verbindungen und des Lignins ist stoffwechselphysiologisch eng an die Aminosäuren (Phenylalanin und Tyrosin) geknüpft (HESS, 1988; KALTOFEN, 1988). Trotz des Zusammenhangs zwischen dem N-Stoffwechsel der Pflanze und der Ligninbildung konnte nur ein geringer Einfluss einer N-Düngung auf die Bildung von Lignin und deren Bestandteile gefunden werden (HARMS und ZGLIMBEA, 1993).

Tabelle 6: P-Cumarsäure- und Ferulasäure-Gehalte in verschiedenen Gräsern (LOWRY et al., 1993)

gemäßigte Arten	Pflanzenteile	pCA (g/kg)	FA (g/kg)	Verfasser
<i>Bromis inermis</i>	Blätter, Z. W.	2,2	2,8	BURRITT et al. 1984
	Blätter	1,4	1,9	JUNG u. FAHEY 1983
	Stengel, Z. W.	11,9	4,3	BUXTON u. RUSSELL 1988
<i>Dactylis glomerata</i>	Stengel, Z. W.	7,4	4,5	BUXTON u. RUSSELL 1988
<i>Elymus juceus</i>	Blätter, Z. W.	2,3	2,3	BURRITT et al. 1984
<i>Lolium perenne</i>	Blätter	1,5	6,4	HARTLEY u. BUCHAN 1979
<i>Phalaris arundinacea</i>	Blätter, Z. W.	1,1	1,8	BURRITT et al. 1984
<i>Phleum pratense</i>	Blätter, Z. W.	5,9	6,8	THEANDER et al. 1981

Z. W. = Zellwand; pCA: p-Cumarsäure; FA: Ferulasäure.

## 2.2.2 Einfluss verschiedener Zellwandbestandteile auf den Futterwert

Die Pflanzenzellwand und ihre analytisch fassbaren Bestandteile von Gräsern sind im frühen Entwicklungsstadium für Wiederkäuer leicht verdaulich und tragen zu hohen Energiegehalten des Futters bei (WAITE, R. et al. 1964). Mit fortschreitendem Wachstum nehmen die Zellwandgehalte, vor allem in den Stengeln, deutlich zu. Auch die Struktur der Zellwandbestandteile verändert sich. Wie in Untersuchungen an Futtergräsern gezeigt wurde, nimmt damit zugleich die Verdaulichkeit des gesamten Pflanzenmaterials und der Zellwand ab (WAITE et al., 1964; KÜHBAUCH und VOIGTLÄNDER, 1979).

Für die Futterwertveränderung spielen nicht nur die Rohfasergehalte eine große Rolle, sondern auch ihre Zusammensetzung sowie die chemische Struktur der Zellwandbestandteile in Futterpflanzen.

### 2.2.2.1 Einlagerung von Kohlenhydraten in die Zellwand während des Wachstums

Die Einlagerung der Zellwandbestandteile unterliegt während des Wachstums starken Veränderungen (s. Abb. 6).

Die erste Phase des Wachstums der Zellwand besteht in der Bildung der Mittellamellen und der Primärwand. Bestandteile dieser sind die zunächst synthetisierten Kohlenhydratpolymere Pektin und Arabinogalaktan.

Viele Untersuchungen zeigen, daß auch große Mengen der L-Arabinose und D-Galactose in der Mittellamelle und der Primärwand eingelagert werden (TERASHIMA et al., 1993).

Mit Beginn des Wachstums der Sekundärwand werden die Xylane und Mannane synthetisiert. Celluloseeinlagerung findet während des gesamten Wachstumsprozesses statt, jedoch verstärkt in die Sekundärwand.

Die Synthese der phenolischen Säuren beginnt in der Primärwand und wird über das Wachstum der Sekundärwand hinaus weiter gebildet.

Die Ligninsynthese setzt während der Synthese der Primärwand ein. Die verschiedenen Grundbausteine werden jedoch zu unterschiedlichen Zeiten synthetisiert. Die Synthese von p-Cumarylalkohol endet in einem relativ frühen Stadium der Bildung der Sekundärwand. Coniferyl- und Sinapylalkohol werden über das Wachstum der Sekundärwand hinaus weiter gebildet.

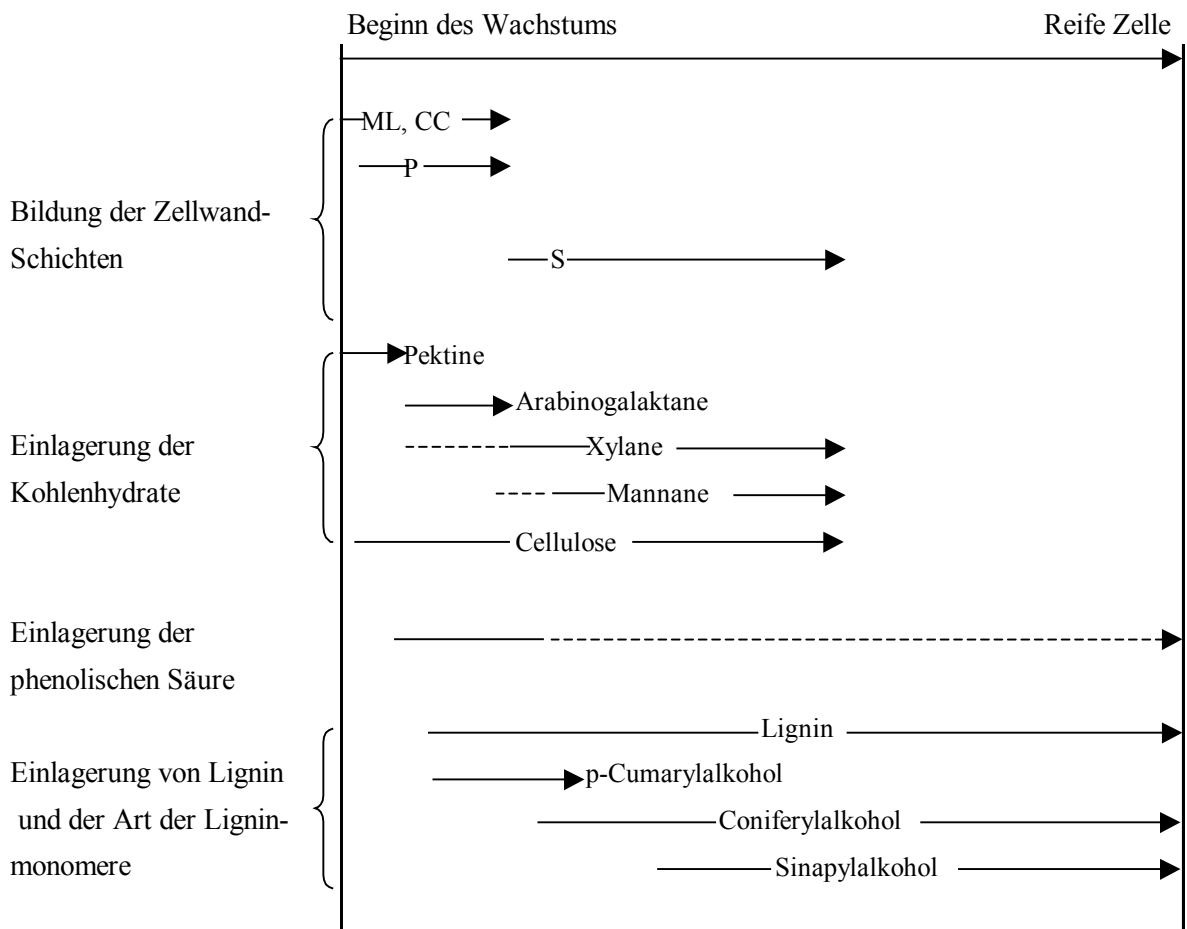


Abbildung 6: Ablauf des Wachstums der verschiedenen Zellwandkomponenten mit der Reife der Pflanzen (TERASHIMA et al., 1993); [ML: Mittellamelle; CC: Cell Corner (Zellkerne); P: Primärwand; S: Sekundärwand]

Die Verschiebung des Verhältnisses von Zellinhalt und Zellwandbestandteilen in Zusammenhang mit der Faserzusammensetzung während des Reifeprozesses ist in Abbildung 7 dargestellt.

Die Reife der Zellen und die Veränderung des Blatt:Stengel Verhältnisses sind Ursache für die Veränderung der chemischen Zusammensetzung. Mit zunehmender Reife der Futterpflanzen (Gräser und Leguminosen) steigt der Gehalt an Cellulose, Hemicellulosen und Lignin an, während der Gehalt an Protein, Lipiden und Mineralstoffen stark abnimmt (ÅMAN, 1993; JUNG und DEETZ, 1993; BEEVER et al., 2000).

Die Stengel von Gräsern und Leguminosen enthalten mehr Lignin, Glucose und Xylose als die Blätter.

In jungen Pflanzen bestehen die Kohlenhydratmonomere der Fasern hauptsächlich aus Glucose, Arabinose, Galactose und Uronsäure. Bei älteren Pflanzen dominieren Glucose, Xylose und Uronsäure.

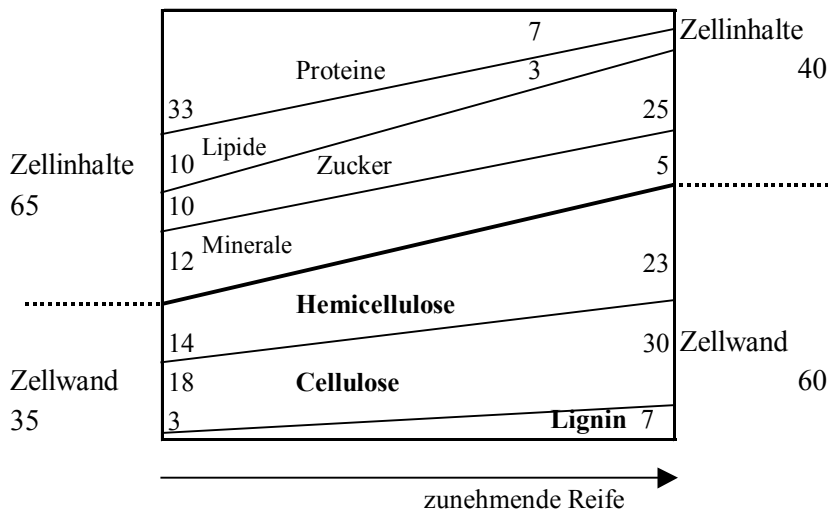


Abbildung 7: Wirkung der Reife auf die chemische Zusammensetzung von Gräsern (BEEVER et al., 2000); Werte in % der TS

#### 2.2.2.2 Verdaulichkeit der verschiedenen Kohlenhydrate

Blätter und Stengel von Gräsern weisen durch ihre unterschiedliche morphologische und chemische Zusammensetzung eine unterschiedliche Verdaulichkeit auf (WILMAN und ALTIMIMI, 1982). Blätter enthalten mehr leicht verdauliche Zellinhaltsstoffe und geringere Anteile an Pflanzenzellwand als Stengel. Somit sind Faser- und Ligningehalt niedriger als in Stengeln. Auch die chemische Struktur der Kohlenhydratpolymere in den verschiedenen Pflanzenteilen weist Unterschiede auf.

Hemicellulosen im Blatt sind in der Regel besser verdaulich als Hemicellulosen in Stengeln (HIRST et al. 1959). DAUGHTRY et al. (1978) gaben als Abbau der Hemicellulosen im Pansen aus Blättern mit 63-69 % und aus Stengeln mit 53-63 % an.

HIRST et al. (1959), FORD (1978), MORRIS (1980), BRICE und MORRISON (1982) haben bestätigt, daß Stengel mehr Xylose als Blätter enthalten.

Da die in vitro-Abbaubarkeit der Arabinose größer ist als die der Xylose könnte dies eine Ursache für den schlechteren Hemicellulosen-Abbau der Stengel sein (WAITE und GORROD, 1959a, b; GAILLARD, 1962). Als weiterer Grund der schlechteren Verdaulichkeit der Hemicellulosen in Stengeln wird der höhere Ligningehalt in Stengeln angegeben (HIRST et al., 1959).

Im Verlauf des Reifeprozesses verändert sich das Blatt:Stengel-Verhältnis zu einem stärkeren Anstieg des Stengelanteils. So wirkt sich die geringere Verdaulichkeit der Stengel an sich auf die Verdaulichkeitssenkung mit der Reife aus.

Jedoch unterliegen die Faserkomponenten der Zellwände im Reifeprozess großen Veränderungen, die im Stengel größer sind als in den Blättern (MORRIS, 1980; BRICE und MORRISON 1982). Mit geringer Abnahme des Arabinose-, Uronsäure- und Glucosegehaltes nimmt der Xylose-, Lignin- und Acetylgehalt und das Verhältnis von Xylose:Arabinose zu.

SÜDEKUM et al. (1990) haben zwei Dauergrünlandbestände untersucht und zu vier Terminen geerntet. Sie haben festgestellt, daß die Gehalte an Rohfaser, ADF und Arabinose, Xylose,  $\beta$ -Glucose im Vegetationsverlauf anstiegen, und gleichzeitig nahm der Gehalt an Rohprotein ab. Während der Rohfasergehalt den höchsten Wert bereits zum dritten Termin erreichte, stiegen die Gehalte an ADF,  $\beta$ -Glucose und Summe der neutralen Zellwandzucker

noch deutlich zum 4. Termin an. Gleichzeitig sanken die Verdaulichkeiten der organischen Masse, des Rohproteins, der Rohfaser und die Gehalte an Nettoenergie (MJ NEL/kg TS).

Die Verdaulichkeit der Kohlenhydrate sinkt im Verlauf der Reife, was mit der Veränderung der Struktur in engem Zusammenhang steht (NANDRA et al., 1983).

Die Cellulosestruktur ist in reifen Pflanzen durch eine hohe Kristallinität gekennzeichnet, die in Assoziation mit Lignin negativ auf die Verdaulichkeit wirkt (WAITE und GORROD, 1959a; WAITE et al., 1964; DEKKER und RICHARDS, 1972; VAN SOEST et al., 1978; MORRIS, 1980; BURRITT et al., 1985).

Ähnliche Ergebnisse fanden auch LINDGREN et al. (1980), GOTO et al. (1991), WEDIG et al. (1986), BRICE und MORRISON (1982) bei Untersuchungen von Wiesenlieschgras (*Phleum pratense* L), Sorghum (*Sorghum bicolor*), Luzerne (*Medicago sativa* L), Knautgras (*Dactylis glomerata* L) und Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne* L).

Mit zunehmendem Pflanzenalter nimmt die Verdaulichkeit der Xylane stärker als die der Cellulose oder anderer Hemicellulosen - Polymere ab. Xylane sind über kovalente Bindungen mit Lignin assoziiert (GAILLARD, 1962; WAITE et al., 1964; BURRITT et al., 1984), so daß sie für den bakteriellen Angriff schwer zugänglich sind. Die Assoziation von Xylanen an Cellulose in der Sekundärwand führt ebenfalls zu einem schlechteren Abbau der Xylane in reifen Pflanzen (VAN SOEST, 1994)

Weiterhin wirken an die Hemicellulosen gebundene Acetylgruppen hemmend auf die Abbaubarkeit (POUTANEN und PULS, 1989).

NORTHCOTE (1972) wies nach, daß Acetylgruppen Bestandteil der Hemicellulosefraktion sind. Die Bindung der Acetylgruppen an Xyloseeinheiten ist für die Verringerung des Abbaus der Xylane verantwortlich.

Der Acetylierungsgrad nimmt bei Gräsern mit zunehmender Reife zu, und gleichzeitig sinkt die Verdaulichkeit, besonders der Pentosan-Fraktion (WAITE et al. 1964).

Auch die Kohlenhydratmonomere weisen unterschiedliche Abbaubarkeit auf. Glucose und Arabinose haben eine deutlich höhere Verdaulichkeit als Xylose in allen Reifestadien (ÅMAN und LINDGREN, 1983; NORDKVIST, 1987; SÜDEKUM et al., 1994). Ähnliches fanden auch DEKKER und RICHARDS (1973) und VAN SOEST (1994) und stellten fest, daß die Verdaulichkeit von Arabinose höher als von Xylose in allen Fraktionen ist. Die unterschiedliche Verdaulichkeit wird u.a. durch die ungleiche Geschwindigkeit der Freisetzung der Monomere beeinflusst. Xylose wird durch die Bindung an Lignin langsamer freigesetzt als Arabinose.

Von den Zuckerkomponenten war die Verdaulichkeit von Xylose am niedrigsten, das haben BOURQUIN et al. (1990) bestätigt.

Arabinose wurde im stärkeren Ausmaß abgebaut als Xylose, wobei die Arabinoseverdauung hauptsächlich im Pansen stattfand, während Xylose erst im Dickdarm abgebaut wurde. Wahrscheinlich müssen erst die Arabinoseverzweigungen des Arabinoxylans abgebaut werden, bevor das Xylangerüst für die Verdauung zugänglich ist (BOURQUIN et al., 1990).

Andere Faktoren, die den Xylose-Abbau reduzieren, sind Lignin (Kern- und Nicht-kernlignin) und ihre Zusammensetzung, Glukuronsäure (Seitenkette der Xylane), Acetylgruppe und die Assoziation der Xylane mit der Cellulose-Mikrofibrillen (MORRIS und BACON, 1976; TITGEMEYER et al. 1991).



### 2.2.2.3 Lignifizierung und phenolische Säuren

Der Grad der Lignifizierung hat den größten Einfluss auf die Verdaulichkeit der Faserbestandteile Cellulose und Hemicellulosen (DEKKER und RICHARDS, 1973).

Bei den Lignin-Polysaccharid-Komplexen konnten Ether-, Ester- und glycosidische Bindungen nachgewiesen werden (LUNDQUIST et al. 1980). Die Ausbildung verschiedener Bindungstypen in Abhängigkeit vom Reaktionspartner entspricht dem Verhalten der Ligninmonomere bei der Polymerisation.

Lignin-Polysaccharid-Komplexe sind Bauelemente der verholzten Zellwand und stellen die Nahtstelle zwischen Lignin und Hemicellulosen dar. Aufgrund ihrer übermolekularen Struktur wie auch ihres chemischen Verhaltens wird auf eine komplexe Assoziation über chemische und physikalische Bindungen geschlossen (FENGEL und WEGENER, 1983). Auf der einen Seite sind die Bindungen der Hemicellulosen zum Lignin (LP-Bindung) und auf der anderen Seite die Wasserstoffbrücken-Bindungen zur Cellulose (H-Bindungen) vorhanden.

Direkte Lignin - Kohlenhydrat - Bindungen bestehen hauptsächlich als Ester zwischen Lignin und Hemicellulosen (VAN SOEST, 1983). Auch glycosidische Bindungen zwischen Lignin und D-Glukose, D-Xylose und L-Rhamnose sollen existieren (GAILLARD und RICHARDS 1975; NEILSON und RICHARDS 1978). Offensichtlich ist Lignin über alkalilabile 0-5-Bindungen an Arabinose als Xylanbestandteil gebunden.

Futterpflanzenlignin enthält Stickstoff, der für die Verdauung unzugänglich ist (VAN SOEST, 1983). Der Anteil an unlöslichem Stickstoff steigt mit dem Lignin-Gehalt der Pflanzen. Wahrscheinlich ist Protein über Phenole in der Faserfraktion gebunden. Die Proteinverdaulichkeit wird besonders durch Polyphenole wie die Tannine gehemmt. Tannine binden Eiweiße in stabilen Komplexen, so daß diese nicht verdaut werden können (MANGAN, 1988; REED et al., 1990; RITTNER und REED, 1992).

In Gräsern stiegen mit zunehmender Reife besonders der pCA-Gehalt und das pCA:FA-Verhältnis an. Der FA-Gehalt nahm zwar auch zu, aber nicht so beständig wie der pCA-Gehalt (BURRITT et al., 1984). JUNG und VOGEL (1986) erklärten das damit, daß pCA eng mit dem steigendem Ligningehalt im Zusammenhang steht, während FA hauptsächlich mit Hemicellulosen verbunden ist, deren Synthese mit zunehmender Reife geringer wird.

Bei Gräsern (gemäßigte und tropische Gräser) ist die Verdaulichkeit von p-Cumarsäure geringer als die von Ferulasäure (THEANDER et al., 1981).

Phenolische Säuren wurden hauptsächlich im Pansen umgesetzt, entweder durch Mikrobentätigkeit oder durch Absorption (JUNG und FAHEY, 1983a). JUNG et al. (1983a, b) und BORNEMAN et al. (1986) nahmen an, daß Pansenmikroben phenolische Monomeren zwar fermentieren können, daß sie aber nicht fähig sind, mit ihnen als alleiniger Energiequelle zu überleben. Die phenolischen Säuren der Luzerne wurden zum größten Teil unabgebaut über den Kot ausgeschieden (70 bis 100 %), für Rohrschwengel lag dieser Anteil durchschnittlich bei 37 bis 47 %. Insgesamt war die Ausscheidung phenolischer Säuren über den Kot bei älteren Pflanzen höher als bei jungen (JUNG et al., 1983b).

Die phenolischen Säuren pCA und FA beeinflussen die Verdaulichkeit nicht nur durch die Bildung der schwerspaltbaren Kohlenhydrat-Lignin-Komplexe, sondern auch durch direkte bakteriostatische Wirkung. Dieses haben CHESSON und MONRO (1982) nachgewiesen. Nach SÜDEKUM et al. (1995) beruht diese Wirkung auf einer Hemmung des Wachstums, der Enzymaktivität und der Haftfähigkeit der Bakterien an die Faserbestandteile.

Das Wachstum cellulolytischer Bakterien in gemischten Kulturen wurde besonders durch pCA und p-Hydroxybenzaldehyd gehemmt, jedoch nur vereinzelt durch Vanillin, Vanillesäure und FA (BORNEMAN et al., 1986). Neben der Wachstumshemmung verringerte pCA die Aktivitäten von  $\beta$ -Glucosidase, Endoglukanase und Xylanase von Pansenbakterien (MARTIN und AKIN, 1988).

Bakterien können sich nur schlecht oder gar nicht an die Gegenwart phenolischer Säuren anpassen, das gilt besonders für cellulolytische Bakterien CHESSON et al. (1982). Es konnte gezeigt werden, daß phenolische Säuren nicht nur ein geringeres Bakterienwachstum und eine verminderte Fähigkeit der Bakterien zum Abbau von Zellwandkomponenten bewirken, sondern schon die Anheftung der Bakterien an das abzubauen Pflanzenmaterial verhindern. HARTLEY und FORD (1989) haben auch bestätigt, daß phenolische Säuren der Pflanzenzellwand der Abbau der Zellwandpolysaccharide beeinflusst. Sie beschränkt den Abbau der Futterpflanzen bei Wiederkäuern (GRAHAM und ÅMAN, 1984). Im Pansen wurden die Bakterien von phenolischen Komponenten (BORNEMAN et al., 1986) bzw. durch phenolische Säure-Substituenten in der Hemicellulose (HARTLEY und FORD, 1989) gehemmt. Die Untersuchung von BOHN und FALES (1989) zeigte, daß die phenolischen Säuren an Gras-Zellwand verestert waren und somit die in vitro-Abbaubarkeit reduziert wurde. Die veresterten phenolischen Säuren der pflanzlichen Zellwand sind eine Barriere für die Abbaubarkeit.

Der hohe NDF-Abbau (in vitro) von *Dactylis glomerata* L im Vergleich zu anderen Gräsern ist proportional mit ihrem geringsten Anteil an Lignin und pCA (BUXTON und RUSSELL, 1988; FALES et al., 1991).

#### 2.2.2.4 Korrelationen zwischen den Zellwandbestandteilen und der Verdaulichkeit der organischen Substanz bzw. der Trockensubstanz

Da der Gehalt an Rohfaser bzw. an Faserfraktionen der Pflanzenbeständen einen starken Einfluss auf die Verdaulichkeit ausübt, wurden vielfältige Beziehungen zwischen Zellwandbestandteilen und der in vivo Verdaulichkeit geprüft.

In Abhängigkeit von Pflanzen bzw. Pflanzenbeständen zeigten verschiedene Autoren unterschiedliche Korrelationskoeffizienten für die Beziehung zwischen der Verdaulichkeit und den Zellwandbestandteilen.

Eine negative Korrelation ( $r = -0,75$ ) zwischen der in vivo-Verdaulichkeit der OS und dem Rohfasergehalt haben SÜDEKUM et al. (1990) bei Dauergrünlandbeständen (Gräser und Weißklee) nachgewiesen. Mit einem Korrelationskoeffizienten von  $r = -0,90$  bestätigte JONES (1970) die Korrelation zwischen der in vitro-Verdaulichkeit der TS und dem Rohfasergehalt bei reinen Gräserbeständen (Perennial ryegrass, Cocksfoot und Timothy).

Der Korrelationskoeffizient von in vitro TS-Verdaulichkeit mit NDF ist mit  $r = -0,87$  für Knäulgras (*Dactylis glomerata*),  $r = -0,97$  für Weidelgras (*Lolium perenne* L x *L. multiflorum* Lam) und mit  $r = -0,96$  für Wiesenlieschgras (*Phleum pratense* L), das haben FALES et al. (1991) bestätigt. Etwas geringeren Korrelationskoeffizient ( $r = -0,84$ ) für diese Beziehung haben BURRITT et al. (1985) bei den Gräsern (Russian wild rye, Smooth brome grass und Reed canarygrass) gefunden.

Eine sehr enge Korrelation ( $r = -0,93$ ) zwischen der in vitro TS-Verdaulichkeit und ADF haben BURRITT et al. (1985) nachgewiesen. In den Untersuchungen von SÜDEKUM et al. (1990) war der Korrelationskoeffizient geringer  $r = -0,81$  für die Beziehung zwischen der in vivo-Verdaulichkeit der OS und ADF.

Eine negative Korrelation liegt zwischen Zellwandverdaulichkeit und Lignin sowohl in Gräsern als auch in Leguminosen, aber diese negative Beziehung war in Gräsern ( $r = -0,82$ ) stärker als in Leguminosen ( $r = -0,61$ ) (SMITH et al., 1972). Eine engere Korrelation zwischen in vitro TS-Verdaulichkeit und Lignin mit unterschiedlichen Korrelationskoeffizienten haben FALES et al. (1991) bei Knäulgras ( $r = -0,85$ ), Weidelgras ( $r = -0,95$ ) und Wiesenlieschgras ( $r = -0,60$ ) gefunden.

Nach RITTNER und REED (1992) sind die Gehalte an Lignin und löslichen Phenolen negativ mit der Proteinverdaulichkeit korreliert. Wahrscheinlich ist Protein über Phenole in der Faserfraktion gebunden.

SMITH et al. (1970) fanden bei Heu die negative Korrelation zwischen der Zellwandverdaulichkeit und dem Lignifizierungsgrad ADL:ADF ( $r = - 0,60$ ). Diese Korrelation war sehr eng ( $r = - 0,98$ ) in den Untersuchungen von VAN SOEST (1983) bei Pflanzenbeständen (Gräser und Leguminosen).

BURRITT et al. (1984, 1985) stellten bei den Gräsern eine hohe negative Korrelation von  $r = - 0,85$  zwischen dem Xylosegehalt und der in vitro-Verdaulichkeit der Trockensubstanz fest. Außerdem schätzen BURRITT et al. (1984) eine positive Korrelation zwischen steigenden Gehalten an pCA und Lignin mit der Reife von  $r = 0,89$ . In den Untersuchungen von SÜDEKUM et al. (1990) war die Korrelation zwischen dem Xylosegehalt und der in vivo Verdaulichkeit der OS schwächer  $r = - 0,75$ .

Die engsten Korrelationen bestanden zwischen dem Xylose:Arabinose Verhältnis im Halm und der Verdaulichkeit der Spross-OS mit  $r = - 0,92$ , das haben SÜDEKUM et al. (1991) bei Winterweizen festgestellt. Ähnlich fand MORRIS (1980) eine starke Korrelation zwischen dem Xylose:Arabinose Verhältnis und der Zellwandverdaulichkeit bei Teff (*Eragrostis tef*).

Hohe Korrelationskoeffizienten von in vitro TS-Verdaulichkeit und dem Gehalt an pCA bestehen für Knautgras  $r = - 0,74$ , Weidelgras  $r = - 0,98$  und für Wiesenlieschgras  $r = - 0,98$  (FALES et al., 1991).

BURRITT et al. (1984) fanden enge negative Korrelationen ( $r = - 0,86$  und  $r = - 0,84$ ) zwischen dem Gehalt an p-Cumarsäure sowie dem Verhältnis pCA:FA und der in vitro Verdaulichkeit der TS bei den Gräsern. Im Versuch mit *Lolium perenne* zeigte HARTLEY (1972) eine enge positive Korrelation ( $r = 0,98$ ;  $p < 0,001$ ) zwischen der Zellwandverdaulichkeit und dem FA/pCA Verhältnis.

### **2.3 Methoden der Bestimmung des energetischen Futterwertes von Grünlandbeständen**

Als Referenzmethode für die Bestimmung des energetischen Futterwertes bei Wiederkäuern gilt der Verdauungsversuch mit Schafen. Der Verdauungsversuch ist sehr zeit- und kostenaufwendig.

Aus diesem Grund wurden Schätzverfahren zur Futterwertkalkulation entwickelt, die den Verdauungsversuch ersetzen sollen. Das Prinzip der Anwendung der verschiedenen Verfahren besteht in der Berechnung von Korrelationskoeffizienten zwischen den verschiedenen Schätzparametern und den Werten aus den Verdauungsversuchen. Auf dieser Basis werden dann Gleichungen zur Futterwertberechnung erstellt.

Als Methoden für die Schätzung werden die chemische Analytik der Futtermittel sowie verschiedene in vitro und in situ-Methoden benutzt.

Die Futterwertschätzung mittels chemischer Analytik beruht auf dem Zusammenhang zwischen verschiedenen Faserbestandteilen und der Verdaulichkeit der organischen Substanz. Die einfachste Schätzgleichung beruht auf dem Rohfasergehalt. Auf dieser Grundlage wurden mit Hilfe der Regressionsanalyse Schätzgleichungen erarbeitet, die in der praktischen Futterwertkontrolle Bedeutung erlangt haben (VOIGTLÄNDER und VOSS, 1979; KIRCHGEßNER und KELLNER, 1981). Allerdings liegen bei Anwendung dieser Methodik die Schätzfehler bei etwa 10 % (SCHÖNER und PFEFFER, 1985a, b; COTTYN et al., 1990). Die Anwendung der "DLG-Formel" für Heu aus langfristig extensiv genutzten Grünlandbeständen ergaben eine Überschätzung des Futterwertes von 0,3 bis 1,0 MJ NEL/kg TS (RODEHUTSCORD et al., 1993 und 1994).

Auch andere Faserbestandteile wie ADF, Lignin als Analysenbasis erbrachten keine genaueren Ergebnisse (SALEWSKI, 1972; JONES, 1980; KIRCHGEßNER und KELLNER, 1981; MIKA et al., 1981; ZWIERZ et al., 1981 SCHÖNER und PFEFFER, 1985).

Die anderen genutzten Schätzverfahren beruhen auf der Messung des Abbaus der Nährstoffe im Pansen. Dabei werden bei der in situ Nylonbeutel-Technik die Proben in den Pansen verbracht (MEHREZ und ORSKOV 1979) und für die in vitro Inkubation wird Pansensaft entnommen. In vitro Inkubationsmethoden sind die 2-Stufenmethode nach TILLY und TERRY (1963) und der Hohenheimer Gastest (MENKE et al., 1979a, b). Für diese Methoden werden pansenfistulierte Tiere benötigt.

In Deutschland wird der Hohenheimer Gastest als in vitro Methode zur Futterwertschätzung (Grünfutter, Kraftfutter, Heu u. a.) empfohlen (DLG, 1997).

Basis dieses Verfahrens ist die Proportionalität zwischen dem Abbau von Substrat und der Gasbildung, die sich aus Methan und CO<sub>2</sub> zusammensetzt. Das gebildete Kohlendioxid ist direktes und indirektes (aus FFS-Bildung) Reaktionsprodukt.

Unter Verwendung der Gasbildung (Gb) und zusätzlicher Einbeziehung der Gehalte von Rohprotein, Rohfett und N-freien Extraktstoffen wurden multiple Regressionsgleichungen zur Schätzung des energetischen Futterwertes einzelner Futtermittelgruppen abgeleitet, von denen die Formel 16 e oder 13 e (MENKE und STEINGASS 1987) für Rauhfutter empfohlen wird.

Die Schätzgenauigkeit lässt sich mit Hilfe des HFT gegenüber den chemisch zu bestimmenden Parametern deutlich verbessern (SCHÖNER und PFEFFER, 1985; SCHÖNER et al., 1985).

Bei Futtermitteln mit bis zu 15 % Rohfaser in der Trockenmasse und Anwendung der Formel 13a von MENKE und STEINGASS (1987) stimmten die geschätzten Energiegehalte im Mittel (-0,04 MJ NEL/kg) mit den am Hammel bestimmten Werten überein (POTTHAST et al., 1994). Im Einzelfall traten mit -0,55 bis 0,68 MJ NEL/kg merkliche Abweichungen auf. Die rohfaserreichen Futter wurden mit der Formel 14b (MENKE und STEINGASS, 1987) im Mittel um 0,15 MJ NEL/kg überschätzt.

Erste Untersuchungen mit Cellulase-Präparaten wurden von DONEFER et al. (1963) durchgeführt, die dann später in verschiedenen Untersuchungsanstalten weiterentwickelt und modifiziert wurden. Dabei zeigte eine Vorbehandlung der Proben mit einer Pepsinlösung und einer anschließenden Inkubation mit einer Cellulaselösung die besten Korrelationen mit den in vivo-Verdaulichkeitsdaten.

KELLNER und KIRCHGEßNER (1976) bzw. KIRCHGEßNER und KELLNER (1981) erzielten die besten Ergebnisse mit einem Säureaufschluss (2N HCl) und anschließender Cellulase- sowie Pepsininkubation. Diese Methode wurde auch von SCHÖNER et al. (1985) angewendet. Auf Basis der Löslichkeit der organischen Substanz erreicht die Schätzgenauigkeit ein Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) von 0,52 und einen Standardschätzfehler ( $Sy.x$ ) von 13,3 %. Aus den Ergebnissen von SCHÖNER et al. (1985) ist ersichtlich, daß die Schätzgenauigkeit durch die Hinzunahme von Rohasche (XA) und Rohprotein (XP) wesentlich gesteigert werden kann ( $R^2 = 0,80$ ,  $Sy.x = 8,6\%$ ). Mit Hilfe einer multiplen Regression, die die Parameter DOC (Cellulaselösliche organische Substanz), XA, Rohfett (XL) enthält, wird die Schätzgenauigkeit der NEL-Gehalte (MJ/kg TS) gesteigert ( $R^2 = 0,86$ ,  $Sy.x = 7,7$ ).

Zur Schätzung des energetischen Futterwertes von Gras und Grasprodukten haben auch KUHLA et al. (1994) die Cellulase-Methode benutzt. Die Schätzfehler betrugen bei der umsetzbaren Energie (ME, MJ/kg TS) zwischen 3,1 und 3,9 %. Ähnliche Ergebnisse erzielten auch WEISSBACH et al. (1996) für Grundfutter für Wiederkäuer. Allerdings waren in die Ableitung der Gleichung von WEISSBACH et al. (1996) nur Futtermittel mit einer

Verdaulichkeit der organischen Substanz von  $\geq 61$  % einbezogen worden. Ihre Gültigkeit war für extreme Spätschnitte von Extensivgrünland nicht gegeben. Eine Weiterentwicklung dieser Schätzgleichung (WEISSBACH et al, 1999) schließt Untersuchungen von Extensivgrünland (Spätschnitte) ein. Als Parameter der neuen Schätzgleichung von WEISSBACH et al. (1999) dienten die Gehalte an Rohasche (XA), Rohprotein (XP) und an enzymunlöslicher organischer Substanz (EuLOS). Der Vergleich der Schätzergebnisse mit den Ergebnissen der Verdauungs-versuche mit Schafen ergab die Schätzfehler von 3,7 % für die umsetzbare Energie (WEISSBACH et al., 1999).

Für diese Methodik werden die entsprechenden Regressionsgleichungen zur Zeit noch diskutiert und unterliegen noch aktuellen Veränderungen.

Tabelle 7 zeigt Ergebnisse eines Methodenvergleiches, der von RODEHUTSCORD u.a. (1994) angestellt wurde.

Die Schätzung der Energiegehalte unter Einbeziehung der Gasbildung führt zu Abweichungen vom jeweiligen Messwert von maximal 0,3 MJ NEL/kg TS (Tabelle 7) (RODEHUTSCORD et al., 1994). Gemessen an der Reststreuung von 5,2 %, die für die Regressionsformel 13e ermittelt wurde (MENKE und STEINGAS, 1987), sind diese Abweichungen akzeptabel. Bei der Anwendung der DLG-Formel bzw. unter Einbeziehung der ELOS war die Schätzgenauigkeit hingegen deutlich schlechter. Allerdings existieren aktuell bereits neuere Schätzgleichungen für die Cellulase-Methode.

Tabelle 7: Gegenüberstellung der aus den verdauten Rohnährstoffen berechneten Energiegehalte mit den nach verschiedenen Methoden geschätzten Energiegehalten in extensiv erzeugtem Heu (MJ NEL/kg TS) [RODEHUTSCORD et al., 1994]

Probe Nr.	Wiesentyp	in vivo-Wert	geschätzt nach			Differenz – Schätz- und Meßwert		
			DLG <sup>1)</sup>	Gb <sup>2)</sup>	ELOS <sup>3)</sup>	DLG	Gb	ELOS
1	typische Glatthaferwiese	5,4	5,7	5,1	5,8	0,3	-0,3	0,4
2	Berg-Glatthaferwiese	5,0	5,6	4,7	4,9	0,6	-0,3	-0,1
3	Bärwurzweide	5,2	5,5	4,9	5,5	0,3	-0,3	0,3
4	trockene Glatthaferwiese	5,0	5,5	5,0	5,4	0,5	0,0	0,4
5	Enzian-Schillergrasrasen	4,8	5,3	4,7	5,0	0,5	-0,1	0,2
6	Wiesenknopf-Silgenwiese	5,0	5,4	4,9	4,8	0,4	-0,1	-0,2
7	dto.	5,1	5,6	5,2	4,4	0,5	0,1	-0,7
8	typische Glatthaferwiese	4,6	4,9	4,7	3,4	0,3	0,1	-1,2
9	dto.	4,5	5,2	4,7	3,6	0,7	0,2	-0,9
10	dto.	4,3	5,3	4,5	3,5	1,0	0,2	-0,8

1) DLG, 1991 (Formel-Rfa); 2) Formel 13e (MENKE und STEINGASS, 1987); 3) RODEHUTSCORD et al., 1993; Gb: Gasbildung nach HFT; ELOS: Enzymlösliche organische Substanz.

Für die vorliegende Arbeit werden sowohl die von der GfE (1998) empfohlenen Gleichungen für die Methodik auf Basis der Rohnährstoffe, HFT und ELOS sowie die auf der Grundlage von EuLOS abgeleiteten Schätzgleichungen (WEISSBACH et al., 1996 u. 1999) herangezogen.

### **3 Material und Methoden**

#### **3.1 Material- und Datenbasis**

Für die eigenen Untersuchungen wurden Pflanzenbestände genutzt, die in einem zeitlich vorher laufenden Projekt mit dem Titel "Prüfung und Bewertung von Methoden zur Schätzung des energetischen Futterwertes von Grünlandaufwüchsen bei unterschiedlicher Nutzungsintensität" (KAISER, 1998) gewonnen worden waren.

Insgesamt 50 Bestandsproben aus den Jahren 1996-1998 wurden genutzt. Die Charakterisierung der Pflanzenbestände wie Bonitur, Flächendeckungsgrad, Ertragsanteilschätzung und Wuchshöhe war ebenfalls im Rahmen des o. g. Projektes durchgeführt worden. Mit 47 Bestandsproben waren in vivo-Verdaulichkeitsuntersuchungen durchgeführt und von allen Proben die Cellulase-Löslichkeit analysiert worden. Die getrockneten Kotproben aus den Verdauungsversuchen wurden für weitere Analysen zur Verfügung gestellt.

Folgende Daten standen für die eigenen Untersuchungen zur Verfügung:

1. Alle Daten zur Beschreibung der Grünlandbestände
2. Die in vivo-Verdaulichkeitswerte aus den Jahren 1996-1998 (1998 wurden die Versuche selbst ausgewertet)
3. Ergebnisse der Cellulase-Untersuchung (ELOS- und EuLOS-Werte)
4. Die Bezeichnung der Proben wurde für die eigenen Untersuchungen übernommen (Nutzungsart und Flächennummer).

#### **3.2 Charakterisierung der Ausgangsbestände**

Das für die Untersuchungen benutzte Pflanzenmaterial stammt aus Grünlandbeständen unterschiedlicher botanischer Zusammensetzung und verschiedener Nutzung.

Es handelt sich um 2 Flächen von je 1700 m<sup>2</sup> Größe, die im Jahr 1990 mit unterschiedlichen Saatsmischungen angesät worden waren (Flächen 5 und 6) bzw. um einen Bestand (Fläche 7) der z. T. als Weide genutzt wurde. Alle Bestände erhielten von der Ansaat an bis einschließlich 1995 eine NPK-Düngung und wurden in 2-Schnitt-Nutzung bearbeitet.

Zur Einordnung der eigenen Untersuchungen wurde die Charakterisierung der Bestände aus dem Abschlußbericht (KAISER, 1998) übernommen.

##### **Standort und Pflanzenbestände**

Die Grünlandbestände befinden sich in der Versuchsstation Blumberg der Humboldt-Universität zu Berlin, nördlich von Berlin im Landkreis Barnim gelegen. Der Standort ist folgendermaßen charakterisiert:

Bodenart:	lehmiger Sand bis sandiger Lehm
Bodenform:	Sand bis Salmtieflehm –Fahlerde z.T. Sand-Braunerde
Standorttyp:	D 3a
Höhe über N.N.:	79 m
Niederschlag:	572 mm, langjähriges Mittel (1966 - 95)
Lufttemperatur:	8,6 <sup>0</sup> C langjähriges Mittel (1966 - 95)

Bei Versuchsbeginn wiesen alle Bestände eine relativ dichte Narbe und eine minimale Verunkrautung auf.

In Tabelle 8 ist eine Übersicht über die Ertragsanteile der Hauptbestandsbildner auf den einzelnen Flächen bei Versuchsbeginn zusammengestellt. Daraus ist ersichtlich, daß auf den Flächen Unterschiede sowohl hinsichtlich der vorhandenen Grasarten als auch des Leguminosenanteils gegeben waren. Auf allen Flächen waren auch vereinzelt Kräuter vorhanden, z.B. Schafgarbe, Löwenzahn, Ackerkratzdistel u.a., deren Anteil bei Versuchsbeginn noch sehr gering war und nicht ertragswirksam wurde.

Tabelle 8: Ertragsanteil (%) der Hauptbestandsbildner zu Beginn des Versuchsprogramms im Frühjahr 1996

Pflanzenart	Fläche		
	5	6	7
Wiesenlieschgras		80	
Rohrschwengel			> 99
Wiesenrispe	85	5	
Deutsches Weidelgras		5	
Weißklee	10	7	
Glatthafer		3	
andere Arten	5		

### Nutzungsvarianten

Jeder Bestand wurde zum Beginn der Untersuchungen 1996 in jeweils 3 gleich große Parzellen unterteilt. Die Parzellen wurden unterschiedlichen Nutzungsarten ausgesetzt. Dabei sind die 3 Nutzungsvarianten wie folgt definiert:

Variante A: Qualitätsorientierte Nutzung

3 - 4 Schnitte, Nutzungsbeginn bei einer Wuchshöhe von 20-25 cm,  
Folgeschnitte nach Entwicklungsstand, Düngung mit mineralischem  
Stickstoff, 50 kg N/ha zu jedem Schnitt, PK-Grunddüngung

Variante B: Qualitätsorientierte Nutzung ohne N-Düngung

3 - 4 Schnitte, Nutzungsbeginn und Folgenutzung wie bei Variante A,  
Keine N-Düngung, PK-Grunddüngung

Variante C: Naturschutzorientierte Nutzung, verspäteter Nutzungsbeginn (als extensive  
Nutzung bezeichnet)

2 Schnitte, erster Schnitt nach dem 1. Juli, 2. Schnitt im Spätsommer,  
keine N-Düngung, PK-Grunddüngung

Für die eigenen Untersuchungen wurden jeweils nur die Pflanzenbestände der ersten und zweiten Schnitte genutzt.

Innerhalb jeder Parzelle waren 3 bzw. 4 Dauerbeobachtungsflächen von ca. 1 m<sup>2</sup> markiert, die über den gesamten Versuchszeitraum auf der gleichen Stelle verblieben. Diese Flächen wurden zur Bonitur genutzt. Zur Bonitur wurden Flächendeckungsgrad, Ertragsanteil und Wuchshöhe ermittelt.

Die Bonitur der Pflanzenbestände erfolgte jeweils max. eine Woche vor dem Erntetermin. Im ersten Versuchsjahr (1996) erfolgte die Bonitur zu jedem Nutzungstermin. In den Jahren 1997 und 1998 wurde darüber hinaus eine Bonitur zum Ende und Beginn der Vegetationsperiode vorgenommen. Folgende Einteilung zum Entwicklungsstadium wurde vorgenommen:

- 0 Oberster Halmknoten < 10 cm hoch
- I Oberster Halmknoten befindet sich etwa 10 cm über dem Erdboden
- II Die Basis der Blütenstandanlage befindet sich auf etwa 2/3 der Halmlänge, wobei als Halmlänge der Abstand zwischen Erdboden und dem Ansatzpunkt der obersten Blattspreite zu betrachten ist.
- III Ähren/Rispen spitzen (Blütenstand tritt 1-2 cm aus der Blattscheide)
- IV Ähren bzw. Rispen voll ausgeschoben
- V Blüte; Staubgefäße sichtbar
- VI Ende Blüte; Staubgefäße leer, vertrocknet oder abgefallen; die Halme sind noch grün.
- VII Gelbreife; Halme vergilben

Im Rahmen des vorgeschalteten Forschungsvorhabens wurden von jeder Fläche Bodenproben entnommen und auf Mineralstoffe hin untersucht, um die Versorgung der Pflanzen mit NPK abschätzen zu können.

Mit Hilfe eines gegitterten Quadratrahmens (ca. 1 m<sup>2</sup>, bestehend aus 100 Teilen) wurde der Flächendeckungsgrad ermittelt. Auf jeder Parzelle wurde der Flächendeckungsgrad dreifach (Fläche 5 und 6) bzw. vierfach (Fläche 7) bestimmt. Dabei wurden die Anteile von Lücken, Leguminosen, Gräsern und Kräutern gezählt und dann die einzelnen Pflanzenarten bestimmt bzw. deren Anteil geschätzt.

Die Wuchshöhe wurde mit dem Zollstock gemessen. Als Wuchshöhe galt der Abstand zwischen dem Erdboden und den Triebspitzen der aufrecht stehenden Halme.

Der Trockenmasseertrag wurde durch dreifache (Fläche 5, 6) bzw. vierfache (Fläche 7) Erfassung des Erntegutes auf Flächen von je 20 m<sup>2</sup> durch Wägung und anschließender Trocknung bestimmt..

### **3.3 Gewinnung und Aufbereitung des Probenmaterials**

Alle beschriebenen Methoden beziehen sich auf die eigenen Untersuchungen.

#### **3.3.1 Pflanzenbestände**

Das zur Verfügung gestellte Probenmaterial war sofort nach der Ernte auf ca. 4 cm Länge gehäckselt und gemischt worden. Anschließend wurde das gehäckselte Material portioniert, bei ca. 0,8 bar evakuiert und eingefroren. Für die eigenen Untersuchungen wurden die gefrorenen Proben gefriergetrocknet und auf 1 mm Siebgröße gemahlen (Retsch SM 2000).

#### **3.3.2 Einzelpflanzen**

Zur näheren Charakterisierung der Bestände wurden in den Jahren 1997 und 1998 die Hauptbestandsbildner der Bestände gewonnen. Zwei bis fünf verschiedene Pflanzenarten (jede Art ca. 300-500 g Frischmasse) wurden aus verschiedenen Stellen aussortiert. Da die Pflanzen zur Ernte z. T. unterschiedliche Reifegrade hatten, bemühten wir uns repräsentative Proben zu gewinnen. Diese Einzelpflanzen wurden dann in Plastiktüten bei einem Vakuum von ca. 0,8 bar evakuiert, zugeschweißt und anschließend bei -23<sup>0</sup> C eingefroren, danach wurden sie gefriergetrocknet. Nach dem Trocknen erfolgte das Mahlen der Proben auf 1 mm Siebgröße.



### 3.3.3 Aufbereitung der Kotproben für die Analytik

Die aus den Verdauungsversuchen zur Verfügung gestellten getrockneten Kotproben wurden für die Faseranalytik folgendermaßen aufgearbeitet: Aus den Kotproben der 4 Versuchstiere je Gruppe wurde eine Mischprobe erstellt, indem Aliquote der angefallenen Kotmengen gemischt wurden (in der Regel 10 % der Kot-TS-Menge). In dieser Mischprobe erfolgte die Bestimmung der Faserbestandteile Neutral-Detergentien-Faser (NDF), Säure-Detergentien-Faser (ADF) und -Lignin (ADL) zur Berechnung der in vivo-Verdaulichkeit.

## 3.4 Chemische Untersuchungen

Die chemischen Untersuchungen wurden für alle Bestandsproben und die Einzelpflanzen durchgeführt. Aus Kapazitätsgründen konnten die Hemicellulosemonomere und phenolischen Säuren nicht für alle Einzelpflanzen bestimmt werden.

### 3.4.1 Weender Rohnährstoffanalytik

Bei der Weender-Analytik wurden folgende Fraktionen bestimmt: Trockensubstanz (TS, DM), Rohasche (Ra, XA), Rohprotein (RPr, XP), Rohfett (RFe, XL) und Rohfaser (RFa, XF). Die Bestimmung erfolgte entsprechend dem Methodenbuch III (NAUMANN und BASSLER, 1976, neue Auflagen 1997).

Zur Rohfettbestimmung wurden die Proben vor der Extraktion einem HCl-Aufschluß unterzogen.

### 3.4.2 Bestimmung der Faser- und Zellwandbestandteile

NDF, ADF, ADL wurden nach Methodenbuch III (NAUMANN und BASSLER, 1976, neue Auflagen 1997) bestimmt.

#### 3.4.2.1 Bestimmung von Xylose, Arabinose und des säurelöslichen Lignins

Die Proben wurden fein gemahlen 0,8 mm Siebdurchgang und etwa 200 mg, auf 1 mg genau, in ein Hydrolysegefäße eingewogen, mit 2 ml 72 %iger Schwefelsäure (genau, titriert) versetzt und intensiv verrührt. Die Probe darf sich dabei nicht erwärmen. Zur Vorhydrolyse wurden die Proben 1h bei 30°C im Wasserbad inkubiert. Nach 30 min. wurden die Proben nochmals gut umgerührt.. Die Reaktion wurde durch Zugabe von 6 ml Wasser unterbrochen. Anschließend wurde der Ansatz mit 50 ml Wasser in einen 100 ml Messkolben überspült. Der Messkolben wurde lose verschlossen. Die Nachhydrolyse erfolgte über 40 min bei 120°C im Autoklaven.

Nach dem Abkühlen wurde der Messkolben bis zur Marke aufgefüllt und gut umgeschüttelt. Der Rückstand wurde über eine G3-Fritte abfiltriert, säurefrei gewaschen und bei 105°C im Trockenschrank getrocknet. Wenn der Rückstand ein schwarzes Aussehen hat, sollte man die Hydrolyse wiederholen. Die Menge des Rückstandes wurde erfasst (Hydrolyserückstand). Die Analyse von Xylose und Arabinose erfolgte aus dem Filtrat mittels HPLC.

### Borat-HPLC-Anlage:

Geräte: UV-VIS-Detektor 332 von Kontron, 560 nm  
Pumpen 422 von Kontron  
Pumpe A: 0,3 M Kaliumtetraboratpuffer  
Pumpe B: 0,9 M Kaliumtetraboratpuffer  
Pumpe C: Kupfer-2,2-bicinchoninat-Reagenz (BCA)  
Probengeber 465 von Kontron

Säule: 18 x 0,7 cm  
Material: Anionenaustauscher, Partikelgrösse 7µm  
Säulentemperatur: 60 °C

Linearer Gradient: Hochdruckgradientensystem  
pH-Wert: 9,2  
0,7 ml / Min.

Zeit in Minute	% A	% B	
0	90	10	% A = 0,3 M Kaliumtetraboratpuffer pH 8,86
35	10	90	% B = 0,9 Kaliumtetraboratpuffer pH 9,45
47 (Ende)			

### Vorgang:

Ein bestimmtes Probenvolumen wird auf die Trennsäule gegeben. Die Trennsäule ist ein starker Anionenaustauscher (Kaliumtetraborat). Die Probe bzw. der reduzierbare Zucker gerät mit der Säule und der mobilen Phase in Wechselwirkung und es entsteht ein negativ geladener Boratkomplex. Je nach Eigenschaft dieses negativen Boratkomplexes kommt es zu einem unterschiedlichen Verhalten zur Säule und so zu einer Trennung der einzelnen Substanzen. Dieser Komplex wird hinter der Säule mit dem BCA, in einem 30 m langen Käl bei 105 °C, vermischt. Es entsteht eine Farbreaktion durch die Reduktion des Zuckers. Die Intensität der Farbreaktion ist proportional zur Konzentration der Probe. Der Nachweis erfolgt bei 560 nm.

Ebenfalls aus dem Filtrat wurde das säurelösliche Lignin bestimmt. Dazu wurden 6 ml Wasser und 500 µl Probe gemischt und die Extinktion im Spectralphotometer "UVIKON 931" gemessen (Wellenlänge: 205 nm). Die Berechnung des Lignins erfolgte nach folgender Gleichung unter Verwendung einer Standardlösung:

$$\text{säure lösliche Lignin\%} = [\text{Ext.} \times \text{Verdünnungsfaktor (13)} \times 100] / (\text{Einwaage} \times 10 \times 110)$$

Einwaage: in g/kg TS; Ext: Extinktion

### 3.4.2.2 Phenolische Säuren (p-Cumarsäure und Ferulasäure)

Es wurde etwa 40,0 mg der zu untersuchenden Probe in Eppendorfgefäße eingewogen und parallel dazu der Feuchtgehalt der Probe ermittelt. Nach Zugabe von 1,0 ml 0,4 M Natronlauge-Lösung wurde die Probe 20 Stunden lang bei 40°C geschüttelt und anschließend mit 0,2 ml 2 M Salzsäure-Lösung neutralisiert. Die Probe wurde zentrifugiert und vom Überstand 0,8 ml zur weiteren Verwendung entnommen.

Der Überstand wurde mit Hilfe von vorbehandelten Kieselgel-Kartuschen gereinigt. Bei diesem Vorgang wurden die wasserlöslichen Substanzen aus der Probe gewaschen. Die wasserunlöslichen Substanzen, wie p-Cumarsäure (pCA) und Ferulasäure (FA) wurden anschließend durch Methanol eluiert. Diese methanolische Phase wurde am Rotationsverdampfer bei 40°C bis zur Trockene eingengt. Der Rückstand wurde mit 1,0 ml Methanol aufgenommen, die Probe mit Hilfe eines 0,2 µm Spritzenfilters gereinigt und in Klamperflaschen für die Reversed-Phase-HPLC gefüllt.

#### Gehaltsbestimmung mit Hilfe der Reversed-Phase-HPLC

Geräte: Degaser von der Firma Thermo Separation Products  
HPLC-Pumpe 422S von Kontron Instruments (KI)  
HPLC Gradient Former 425 von KI  
HPLC 360 Autosampler von KI  
Säulenofen von spark holland  
Diodenarraydetektor von KI

Säule: Trennsäule: Li Chrospher 100 RP-18, 5µm, 250x4 mm, von Merck  
Vorsäule: RP-18, 5µm, 30x4mm, von Macherey-Nagel  
Temperatur: 60°C  
Fluß: 1,0 ml/min  
Eluenten: A: 0.003M Phosphorsäure-Lösung  
B: Acetonitril

Gradient:

Zeit in min	% Eluent A	% Eluent B
0,00	90	10
24,00	30	70
25,00	30	70
25,10	0	100
27,00	0	100
27,10	90	10
34,90	90	10

Zeit: 35,00 Minuten

Wellenlängen: p-Cumarsäure: 312 nm      Ferulasäure: 325 nm

### 3.5 In vitro-Untersuchungen

Als Vergleichsuntersuchungen für die in vivo-Untersuchung und die chemische Charakterisierung wurden folgende in vitro Verfahren durchgeführt:

Nylonbeuteltechnik (Pflanzenbestände) und Hohenheimer Futterwerttest–HFT (Pflanzenbestände und Einzelpflanzen).

#### 3.5.1 Nylonbeuteltechnik

Die Nylonbeutelversuche wurden in der Tierversuchsstation des Instituts für Nutztierwissenschaften in Berlin-Dahlem durchgeführt. Für die Versuche stand 1 Kuh mit Pansenfistel zur Verfügung.

Das Versuchstier wurde 2 x täglich, ca. 7.30 - 8.00 Uhr und 16.30 - 17.00 Uhr im Erhaltungsbedarf gefüttert. Als Futtermittel standen Heu und Wasser ad libitum und ca. 1 kg Kraftfutter zur Verfügung.

Die Nylonbeuteleingabe erfolgte unmittelbar vor der Fütterung. Pro Ansatz wurden 12 - 15 Nylonbeutel in den Pansen gegeben. Die Beutelgröße betrug 10 cm x 12 cm (Nylonfaser: 0,41 µm Porengröße), und die Einwaage pro Beutel lag bei ca. 3,5 g (29,2 mg/cm<sup>2</sup>).

Die Inkubationszeit betrug 24 Stunden. Es wurden in der Regel 3 Ansätze pro Woche durchgeführt.

Die vorbereiteten Beutel wurden vor der Eingabe in den Pansen kurz in lauwarmes Wasser getaucht, um eine vollständige Benetzung zu erreichen. Die Beutel befanden sich an einem Schnurring, der mit einem Massestück versehen war.

Nach der Entnahme aus dem Pansen wurden die Beutel in einen Wassereimer mit kaltem Wasser verbracht. Nach kurzem Abspülen wurden die Beutel 4 x 5 min. mit kaltem Wasser gewaschen (Rührwerk). Anschließend erfolgte die Trocknung über 24 Stunden bei 60 °C im Umwälztrockenschrank.

Bei der Bestimmung der 0-Werte wurden die vorbereiteten Beutel in einem Wassereimer mit kaltem Wasser 4 x 5 min. gewaschen (Rührwerk). Anschließend wurden die Beutel 24 Stunden bei 60°C im Umwälztrockenschrank getrocknet.

#### 3.5.2 HFT (Hohenheimer Futterwerttest)

Alle Grünfutterproben und die Einzelpflanzen wurden im HFT-Gastest untersucht.

Entsprechen der von STEINGASS und MENKE (1986) entwickelten Methode erfolgten die Bestimmungen in 6-facher Wiederholung, wobei je 3 Messungen an 2 verschiedenen Tagen durchgeführt wurden. Für die Pansensaftgewinnung standen 3 Schafe mit Pansenfistel zur Verfügung. Pansensaftentnahme erfolgte 2 x wöchentlich vor der Morgenfütterung.

Um die Abbaudynamik für alle Proben erfassen zu können, wurde die Gasbildung mittels HFT als Zeitverlauf bestimmt, dazu wurde die Gasbildung nach 4, 8, 12 und 24 Stunden abgelesen.

Die Inhalte der Probenkolber wurden nach 24 Stunden Inkubation quantitativ in eine 250 ml Plasteflasche überführt, um die unlöslichen Reste nach HFT-Inkubation zu bestimmen. Je Ansatz wurden die 3 Proben eines Futtermittels zusammengefasst. Diese Proben wurden auf je 2 100 ml Zentrifügelgläser quantitativ verteilt. Der Überstand mit einem Teil der Bakterien-schicht wurde abgegossen. Der Niederschlag wurde in der Tiefkühltruhe eingefroren. Der Niederschlag wurde quantitativ in eine vorgeglühte, mit Sand versehene und gewogene Fritte (Tecator) überführt. Diese Proben wurden 1 Stunde mit NDF-Lösung (Tecator-Gerät) behandelt. Nach der Vortrocknung mittels Aceton wurden die Proben unter

laufendem Abzug ausgedünstet und anschließend über Nacht im Trockenschrank bei 100°C getrocknet. Nach der Masseermittlung wurden die Proben 3 Stunden bei 500°C verascht und nach dem Abkühlen zurückgewogen.

### 3.6 Berechnungen und statistische Methoden

Für die Prüfung von Methoden zur Schätzung des energetischen Futterwertes wurden die Schätzgleichungen für Grünfutter herangezogen, die vom Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 1998) empfohlenen sind: Basis Roh Nährstoffgehalt, Cellulase-Methode und HFT.

#### Formel (XF)

Frischgras, 1. Aufwuchs:	$ME = 14,06 - 0,01370 \text{ XF} - 0,0098 \text{ XA} + 0,00483 \text{ XP}$
Frischgras, Folgeaufwüchse:	$ME = 12,47 - 0,00686 \text{ XF} - 0,01335 \text{ XA} + 0,00388 \text{ XP}$

ME in MJ/kg TS; Roh Nährstoffe (XA, XP, XF) in g/kg TS; ME: Umsetzbare Energie; XA: Rohasche; XP: Rohprotein; XF: Rohfaser; (GfE, 1998).

Auf der Basis der Roh Nährstoffgehalte und Gasbildung des HFT wurde ebenfalls die umsetzbare Energie (ME, MJ/kg TS) der Einzelpflanzen geprüft.

#### Formel (HFT)

Frischgras:	$ME = 1,12 + 0,4348 * XL - 0,0002915 * XL * XA + 0,000278 * XL * XP - 0,003997 * XL * XL - 0,003699 * Gb * XL + 0,001898 * Gb * Gb$
-------------	---

ME in MJ/Kg TS; ME: Umsetzbare Energie; Roh Nährstoffe (XA, XP, XL) in g/Kg TS; XA: Rohasche; XP: Rohprotein; XL: Rohfett; Gasbildung (Gb) in ml/200 mg TS; (GfE, 1998).

#### Formel (ELOS)

Frischgras:	$ME = - 6,10 + 0,03629 * ELOS + 0,001563 * XL * XF - 0,00005234 * ELOS * XF - 0,00054 * ELOS * XL$
-------------	--

ME in MJ/kg TS; ME: Umsetzbare Energie; Roh Nährstoffe (XL, XF); XL: Rohfett; XF: Rohfaser; ELOS: Enzymlösbarer Organische Substanz in g/kg TS; (GfE, 1998).

Zusätzlich wurde die Gleichung auf der Basis enzymlösbarer organischer Substanz (EuLOS) (WEISSBACH et al., 1996 und 1999) bei der Prüfung berücksichtigt.

Formel (EuLOS<sup>96</sup>)

Gras und Graskonzentrate: ME = 13,96 - 0,0147 XA - 0,0108 EuLOS + 0,00234 XP
---

Formel (EuLOS<sup>99</sup>)

Gras und Graskonzentrate: ME = 13,98 - 0,0147 * XA - 0,0102 * EuLOS - 0,00000254 * EuLOS * EuLOS + 0,00234 * XP
---

ME in MJ/kg TS; ME: Umsetzbare Energie; Rohnährstoffe (XA, XP) in g/kg TS; XA: Rohasche; XP: Rohprotein; EuLOS: Enzymunlösliche organische Substanz in g/kg TS.

## Statistische Untersuchungen:

### 1. Maß für die Schätzgenauigkeit

Der Zusammenhang zwischen dem Schätzwert und dem in vivo ermittelten Wert des Energiegehaltes wird durch das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) charakterisiert. Als Maß für die Schätzgenauigkeit wird der Standardfehler ( $Sy.x$ ) sowie die Differenz (d) zwischen dem Schätzwert (SW) und dem in vivo-Meßwert (MW) für die Energiekonzentration herangezogen.

Korrelation zwischen Faser- bzw. Zellwandbestandteilen oder in vitro-Parametern zur umsetzbaren Energie bzw. Verdaulichkeit der organischen Substanz wurden ermittelt. Dazu wurden lineare und nichtlineare (nur bei einfacher Regression) Regressionsgleichungen berechnet und hierfür das Programm SPSS 10.0 für Windows benutzt.

Regressionsgleichung:

einfache lineare Regression: $y = b_0 + b_1x$ einfache nichtlineare Regression: $y = b_0 + b_1x + b_2x^2$
--

multiple lineare Regression:

$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$
--

### 2. Varianzanalyse-Modelle

Die Ergebnisse wurden nach den varianzanalytischen Verfahren (Programm-SPSS, Version 9.0) ausgewertet. Zwei- bzw. dreifaktorielle Modelle mit 2 Prüffaktoren (Wechselwirkungen) der Varianzanalyse wurden angewendet.

Zur Prüfung auf Signifikanz der Mittelwertdifferenzen wurde der LSD (Least Significant Differences)-Test eingesetzt.

### Pflanzenbestände:

Dreifaktorielle Varianzanalyse:

$$X_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + (\omega)_{ijk}$$

$\alpha_i$  = Effekt des i-ten Jahres

$\beta_j$  = Effekt der j-ten Fläche

$\delta_k$  = Effekt der k-ten Nutzung

$(\omega)_{ijk}$  = Wechselwirkungseffekt

**Einzelpflanzen:**Zweifaktorielle Varianzanalyse:

$$X_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\omega)_{ij}$$

$\alpha_i$  = Effekt der i-ten Pflanzenart

$\beta_j$  = Effekt der j-ten Nutzung

$(\omega)_{ij}$  = Wechselwirkungseffekt

Dreifaktorielle Varianzanalyse:

$$X_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + (\omega)_{ijk}$$

$\alpha_i$  = Effekt der i-ten Pflanzenart

$\beta_j$  = Effekt des j-ten Jahres

$\delta_k$  = Effekt der k-ten Nutzung

$(\omega)_{ijk}$  = Wechselwirkungseffekt

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Charakteristik der Pflanzenbestände

#### 4.1.1 Abiotische Faktoren

Aus den Analysen der Bodenproben kann festgestellt werden, daß sowohl hinsichtlich des Stickstoff- und Humusgehaltes als auch des Phosphor- Kalium- und Magnesiumgehaltes keine gerichteten Unterschiede vorlagen und die Versorgung der Pflanzen mit diesen Elementen ausreichend war (Vgl. KAISER, 1998).

Die Witterungsverläufe während der 3 Versuchsjahre weisen dagegen deutliche Unterschiede auf, so daß die Wachstumsbedingungen für die Grünlandbestände hinsichtlich der Witterung unterschiedlich waren.

Im Jahr 1996 lagen die Temperaturen und die Niederschläge mit 6,8 °C und 438,2 mm deutlich unter dem langjährigen Mittel (8,6 °C bzw. 572 mm; s. Abb. 8) am Standort Blumberg. Der Jahresbeginn und das Jahresende waren besonders durch geringe Niederschläge und Temperaturen gekennzeichnet. Während der Vegetationszeit (außer Juni) übertrafen die Niederschläge den Durchschnittswert, so daß für das Wachstum der Pflanzen relativ günstige Bedingungen herrschten. Der Beginn der Vegetationsperiode wird sehr spät mit dem 5.4. angegeben.

Das Jahr 1997 (s. Abb. 9) lag mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,7 °C im Durchschnitt, jedoch betrugen die Niederschläge 448,4 mm und entsprachen denen des Vorjahres. Allerdings unterlagen die Niederschläge sehr starken monatlichen Schwankungen mit extrem geringen Werten in den Monaten Januar, März, Juni, September und November und extrem hohen im Februar und Juli. Diese stark schwankenden Regenfälle hatten einen unterschiedlichen Einfluß auf das Pflanzenwachstum im Verlaufe des Erntejahres. Der Beginn der Vegetationsperiode wird mit dem 20.2. angegeben.

Von den drei Versuchsjahren waren die Durchschnittstemperaturen mit 9,2 °C und die Niederschläge mit 539,8 mm im Jahre 1998 (s. Abb. 10) am höchsten. Auffällig ist, daß besonders im ersten Halbjahr eine deutliche Temperatursteigerung gegenüber dem langjährigen Mittel zu verzeichnen war und die 2. Jahreshälfte eher unter den Durchschnittstemperaturen lag. Die Regenfälle waren wie im Vorjahr durch große monatliche Schwankungen gekennzeichnet, wobei die Monate Februar und Mai extrem trocken waren und besonders starke Regenfälle im Monat Oktober mit 20 % der Jahresniederschlagsmenge fielen. Durch die geringen Niederschlagsmengen und die deutlich erhöhten Temperaturen im Mai wurde das Wachstum der Pflanzen unterbrochen. Als Vegetationsbeginn wird der 9.2. angegeben.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Wachstumsbedingungen für die Pflanzen in den drei Versuchsjahren 1996 bis 1998 sehr unterschiedlich waren. Dabei sind besonders die sehr verschiedenen Zeiten für den Vegetationsbeginn hervorzuheben, nämlich 5. April; 20. Februar und 9. Februar für die Jahre 1996-1998. Daher ist bei etwa gleichem ersten Erntetermin das Pflanzenalter in den Jahren 97 und 98 deutlich höher als im Jahre 96, was mit einem höheren Reifegrad verbunden ist.



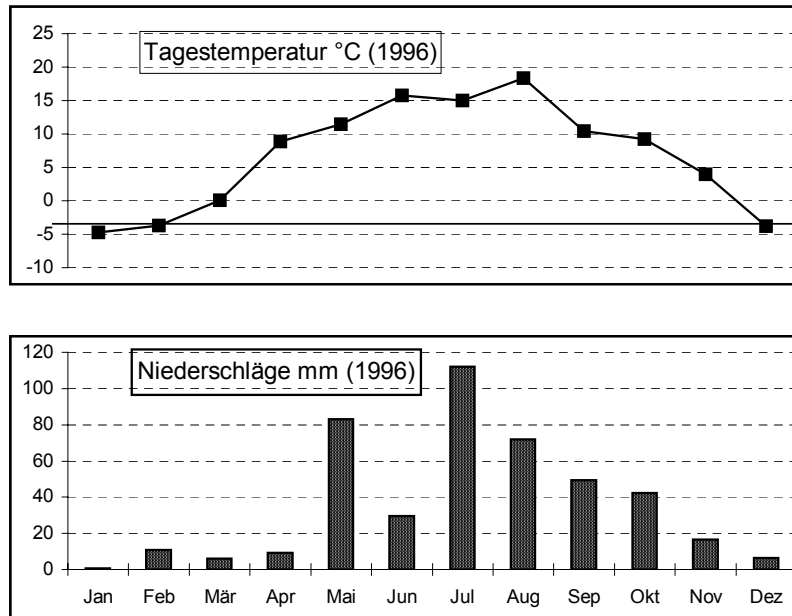


Abbildung 8: Durchschnittliche Tagestemperaturen und monatliche Niederschlagsmengen (Summe) am Versuchsstandort Blumberg 1996

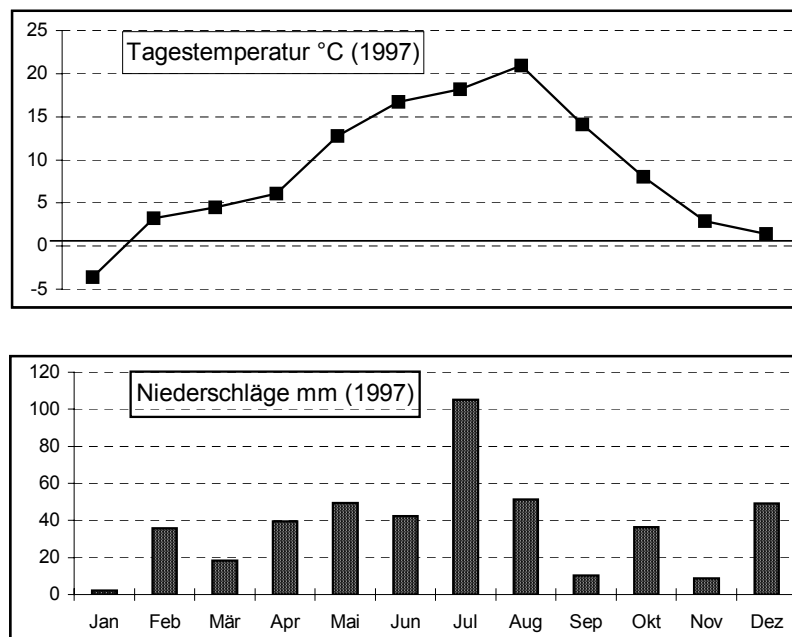


Abbildung 9: Durchschnittliche Tagestemperaturen und monatliche Niederschlagsmengen (Summe) am Versuchsstandort Blumberg 1997

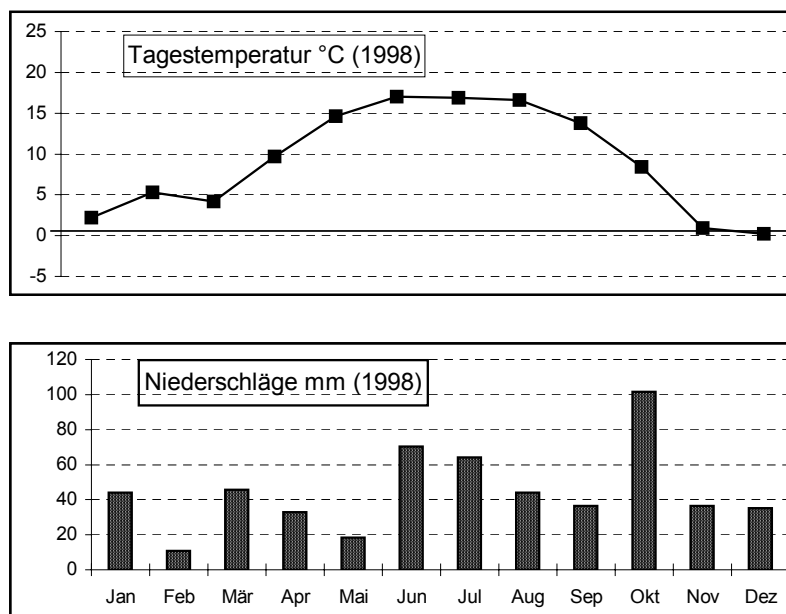


Abbildung 10: Durchschnittliche Tagestemperaturen und monatliche Niederschlagsmengen (Summe) am Versuchsstandort Blumberg 1998

#### 4.1.2 Dynamik der Bestandsentwicklung

Die wichtigsten Pflanzenarten auf den untersuchten Grünlandbeständen waren Wiesenrispe, Deutsches Weidelgras, Rotschwingel, Wiesenlieschgras, Glatthafer, Rohrschwingel und Weißklee. Die Aufteilung der Hauptbestandsbildner auf die 3 untersuchten Flächen ist in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Aufteilung der Hauptbestandsbildner auf den Grünlandflächen über die Versuchsdauer

Fläche 5	Fläche 6	Fläche 7
Wiesenrispe*	Wiesenlieschgras*	Rohrschwingel*
Weißklee	Deutsches Weidelgras	Deutsches
Deutsches	Wiesenrispe	Weidelgras
Weidelgras	Glatthafer	Weißklee
Rotschwingel	Weißklee	

\* dominierende Pflanzenart mit einem Ertragsanteil von  $\geq 80\%$

Über die Dynamik der Bestandsentwicklung, Pflanzenzusammensetzung, Bedeckungsgrad, Ertragsanteile informieren die Abbildungen (A1-A3) und Anhangstabellen (A1-A5) im Anhang. Die durchschnittliche Verteilung nach Gräsern, Weißklee und Kräutern auf den Beständen bei den unterschiedlichen Nutzungsarten zeigt Abbildung 11. Eine nähere Charakteristik ist in KAISER (1998) gegeben.

Es kann festgestellt werden, daß sich alle Bestände im Verlaufe der drei Versuchsjahre stark verändert haben. Unabhängig von der ursprünglichen Pflanzenzusammensetzung führte die fehlende N-Düngung (Variante B und C) zu einem Anstieg des Leguminosenanteils. Bei der intensiven Nutzung (Variante A) ergaben sich zwischen dem ersten und zweiten Schnitt große Unterschiede in der Gräserzusammensetzung. Besonders deutlich wurde das auf Fläche 5 festgestellt.

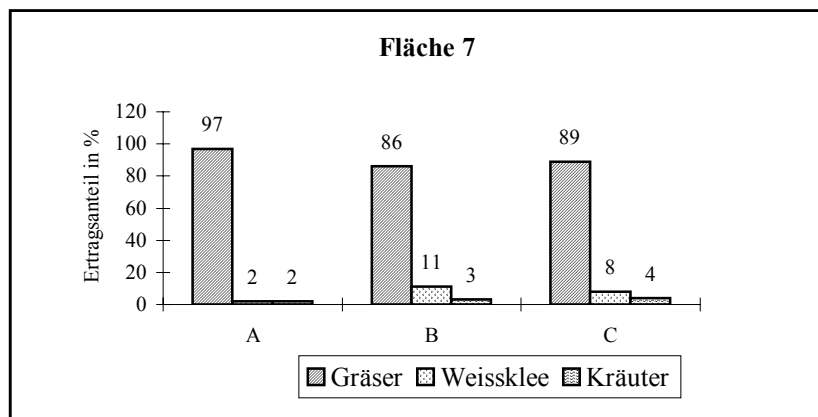
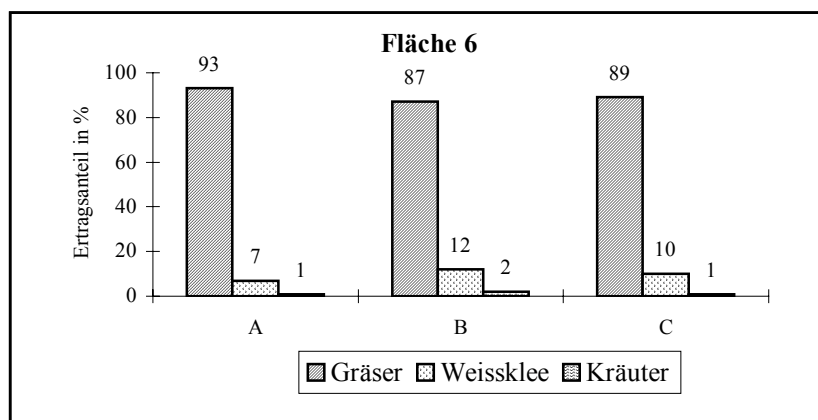
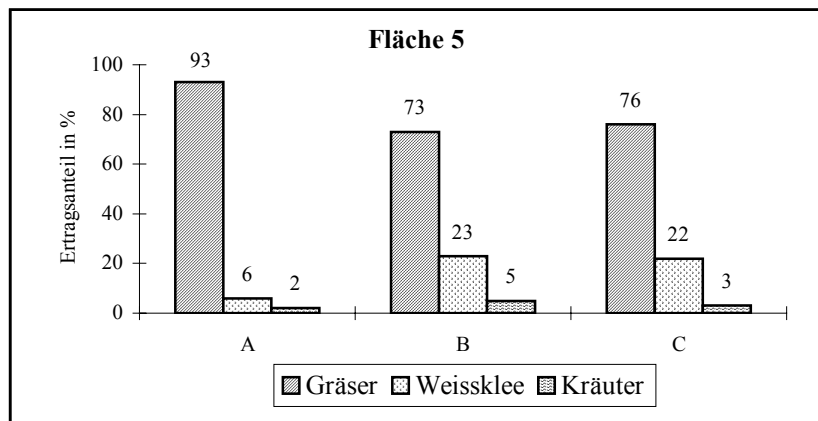


Abbildung 11: Ertragsanteile (%) der Gräser, Weißklee und Kräuter (1996-98)

### 4.1.3 Die chemische Zusammensetzung der Pflanzenbestände

#### 4.1.3.1 Rohrnährstoffgehalte der Bestände

Aus den ursprünglich 50 zur Verfügung stehenden Pflanzenbeständen wurden für die statistische Auswertung 6 Bestände (5C2.96, 5B1.98, 5C2.98, 6B2.96, 7C2.97 und 7B2.98) eliminiert. Die analysierten Rohaschegehalte lagen mit 16-30 % der TS (Normalwerte: 6-10 %) zu hoch und wirkten sich verfälschend auf die Zusammensetzung der organischen Substanz aus. Die Ursache für die hohen Werte waren Sandauswürfe durch Maulwürfe. Ausgewählte Rohrnährstoffgehalte der Pflanzenbestände sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Rohrnährstoffgehalte der Pflanzenbestände in den 1. und 2. Aufwüchsen

Einflussfaktoren			Rohnährstoffgehalt in g/kg TS			
Schnitt		n	OS	XA	XP	XF
1.	Signifikanz:		*	*	**	N. S.
	<b>Jahr:</b>					
	96	7	905 <sup>b</sup>	95 <sup>a</sup>	126 <sup>ab</sup>	278
	97	9	891 <sup>a</sup>	109 <sup>b</sup>	142 <sup>b</sup>	265
	98	8	910 <sup>b</sup>	90 <sup>a</sup>	111 <sup>a</sup>	276
	Signifikanz:		n. s.	n. s.	*	n. s.
	<b>Fläche:</b>					
	5	8	898	102	141 <sup>b</sup>	266
	6	9	903	97	129 <sup>b</sup>	275
	7	7	904	96	109 <sup>a</sup>	277
	Signifikanz:		**	**	***	***
	<b>Nutzung:</b>					
	A	8	899 <sup>a</sup>	101 <sup>b</sup>	157 <sup>b</sup>	261 <sup>a</sup>
	B	7	892 <sup>a</sup>	108 <sup>b</sup>	145 <sup>b</sup>	249 <sup>a</sup>
	C	9	913 <sup>b</sup>	87 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>	308 <sup>b</sup>
2.	Signifikanz:		n. s.	n. s.	**	n. s.
	<b>Jahr:</b>					
	96	5	880	120	116 <sup>a</sup>	249
	97	8	890	110	152 <sup>b</sup>	241
	98	7	889	111	119 <sup>a</sup>	252
	Signifikanz:		*	*	*	n. s.
	<b>Fläche:</b>					
	5	7	888 <sup>ab</sup>	112 <sup>ab</sup>	141 <sup>b</sup>	246
	6	8	897 <sup>b</sup>	103 <sup>a</sup>	132 <sup>ab</sup>	245
	7	5	874 <sup>a</sup>	126 <sup>b</sup>	114 <sup>a</sup>	251
	Signifikanz:		n. s.	n. s.	*	n. s.
	<b>Nutzung:</b>					
	A	8	896	104	137 <sup>b</sup>	241
	B	8	882	118	130 <sup>ab</sup>	251
	C	6	881	119	121 <sup>a</sup>	251

Signifikanz im F-Test ( $\alpha < 0,05$ ; bei Signifikanz folgt LSD-Test). Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte pro Faktor sind signifikant: \*  $\alpha < 0,05$ ; \*\*  $\alpha < 0,01$ ; \*\*\*  $\alpha < 0,001$ . n. s.: nicht signifikant. OS: Organische Substanz; XA: Rohasche; XP: Rohprotein; XF: Rohfaser.

Beim ersten Aufwuchs variiert der Rohproteingehalt sehr stark zwischen 49...191 g/kg TS. Die Variationsbreite des Rohfasergehaltes liegt zwischen 219...326 g/kg TS (s. Anhangstabelle 17).

Die unabhängige Variable "Jahr" spiegelt im Wesentlichen den Einfluss der Witterung und die Veränderung der Pflanzenzusammensetzung der Bestände wider. Unter der Auswirkung der Witterung gibt es fast keine Veränderung des Rohfasergehaltes. Eine

signifikante Veränderung des Rohproteingehaltes wird hier zwischen dem zweiten und dritten Versuchsjahr festgestellt.

Die Variable "Fläche" entspricht dem Einfluß der Bestandszusammensetzung. Die Hauptbestandsbildner der Flächen 5 und 6 waren Wiesenrispe, Deutsches Weidelgras, Wiesenlieschgras, die als Gräser guter Futterqualität eingeschätzt werden. Fläche 7 war ein fast reiner Rohrschwingelbestand. Rohrschwingel wird als Gras mittlerer Futterqualität eingestuft.

Obwohl die drei Flächen eine unterschiedliche Zusammensetzung aufwiesen, gab es keinen Einfluß auf den Rohfasergehalt. Die Auswirkung der Fläche ist nur auf den Rohproteingehalt zu sehen. Dieser Gehalt ist bei Fläche 7 signifikant am niedrigsten.

Die Bestimmung des Reifegrades der Bestände erfolgte im Rahmen der Bonitur zur Ernte. Die Reifegrade innerhalb eines Bestandes waren nicht immer einheitlich und wiesen z.T. erhebliche Variationsbreiten auf (Vgl. Tab. 11). Hinsichtlich der Nutzungsart ist allerdings eine deutliche Tendenz zu erkennen. Die Bestände der Nutzung A hatten einen durchschnittlichen Reifegrad von 2,1, die Nutzung B von 2,4 und Nutzung C wies mit durchschnittlich 4,5 einen deutlich höheren Reifegrad auf. So steht die Variable "Nutzung" zum ersten Schnitt in einem engen Zusammenhang zum Pflanzenalter.

Die Varianten A und B haben die gleiche Nutzungsfrequenz. Unterschiede gab es hinsichtlich der N-Versorgung (B ohne N-Düngung). Keine signifikanten Unterschiede wurden zwischen der Nutzung A und B in den Roh Nährstoffgehalten festgestellt.

Extreme Veränderungen der Roh Nährstoffgehalte zeigt der erste Aufwuchs der naturschutzorientierten Nutzung (C1). Bei dieser Variante ist der Rohproteingehalt ca. 50 % niedriger und der Rohfasergehalt signifikant höher als in den Varianten A und B.

Die Variationsbreite der Nährstoffgehalte ist im 2. Aufwuchs ebenfalls groß: Rohprotein: 73...186 g/kg TS und Rohfaser: 216...267 g/kg TS (s. Anhangstabelle 17), aber im Vergleich zum ersten Aufwuchs geringer.

Der Rohproteingehalt der Bestände wurde am stärksten durch Stickstoffdüngung beeinflusst. Die N-gedüngte Variante A hat erwartungsgemäß den höchsten Rohproteingehalt. Allerdings übt die Bestandszusammensetzung ebenfalls einen Einfluss auf den Rohproteingehalt aus. Die Veränderung des Verhältnisses von Gräsern zu Leguminosen auf nicht gedüngte (N-Düngung) Fläche kann diese Senkung des Rohproteingehaltes zum Teil kompensieren.

Insgesamt ist die Wirkung der Nutzung beim zweiten Aufwuchs nicht so deutlich wie beim ersten Aufwuchs. Der Rohproteingehalt des zweiten Aufwuchses der naturschutzorientierten Nutzung (C2) ist mit dem Rohproteingehalt der Variante A und B (2. Schnitt) vergleichbar.

Der Rohfasergehalt ist beim zweiten Schnitt signifikant geringer als beim ersten Schnitt der naturschutzorientierten Nutzung.

Tabelle 11: Entwicklungsstadium (Reife) und Wuchshöhe (Höhe, cm) der Hauptbestandsbildner zum Schnittzeitpunkt

Var. Aufw.	1996						1997						1998					
	Fläche						Fläche						Fläche					
	5		6		7		5		6		7		5		6		7	
	Reife	Höhe	Reife	Höhe	Reife	Höhe	Reife	Höhe	Reife	Höhe	Reife	Höhe	Reife	Höhe	Reife	Höhe	Reife	Höhe
<b>A</b>	1.	I 25	0 25	0 27	I-IV 36	0-II 40	IV 54	II-IV 44	I-IV 49	IV 71								
	2.	I 40	I 46	I 50	III 35	V 65	0 20	I-IV 46	III-V 49	0-III 31								
<b>B</b>	1.	II 30	0 25	I 27	IV 50	III 60	IV 60	III-V 60	0-IV 50	IV-V 53								
	2.	II 35	I 35	0 30	IV 30	0-III 55	0 25	0-IV 55	0-VI 54	0-I 30								
<b>C 1.</b>																		
Gräser		VII 85-100	IV-VII 55-130	V 115	IV-VII 50-90	V-VII 35-160	VI 105	IV-V 75-103	IV-V 45-150	IV-VI 62-105								
Weissklee		Blüte	Blüte		Blüte	Blüte	Blüte	Blüte	Blüte	Blüte								
<b>C 2.</b>																		
Gräser		0 30-50	I-V 45-95	0 32	I 20-35	VI-VII 80-95	0-I 25	0 24-34	0-VI 20-82	0 20								
Weissklee		Blüte				Blüte	Blüte		v. d. Blüte	B. d. Blüte								

v. d. Blüte = vor der Blüte

B. d. Blüte = Beginn der Blüte

0 Oberster Halmknoten < 10 cm hoch

I Oberster Halmknoten befindet sich etwa 10 cm über dem Erdboden

II Die Basis der Blütenstandanlage befindet sich auf etwa 2/3 der Halmlänge, wobei als Halmlänge der Abstand zwischen Erdboden und dem Ansatzpunkt der obersten Blattspreite zu betrachten ist.

III Ähren/Rispen (Blütenstand tritt 1-2 cm aus der Blattscheide)

IV Ähren bzw. Rispen voll ausgeschoben

V Blüte; Staubgefäße sichtbar

VI Ende Blüte; Staubgefäße leer, vertrocknet oder abgefallen; die Halme sind noch grün.

VII Gelbreife; Halme vergilben

#### 4.1.3.2 Faserbestandteile der Pflanzenbestände

Die Tabellen 12 und 13 fassen die Faserbestandteile aller Bestände zusammen, Tabelle 12 zeigt die Detergenzienfaser nach Van Soest und die Ligninfraktionen ADL, lösliches Lignin und Gesamtlignin. Tabelle 13 zeigt die Ergebnisse der Analytik der Hemicellulosebestandteile Xylose und Arabinose sowie der phenolischen Säuren.

Beim ersten Aufwuchs variiert der ADL-Gehalt zwischen 20...61 g/kg TS (s. Anhangstabelle 18).

Die Wirkung der Versuchsjahre auf die Faserfraktionen (ADF, ADL) ist beim ersten Aufwuchs kaum zu erkennen.

Die unterschiedliche Bestandszusammensetzung (Fläche) hat keine Wirkung auf die Faserfraktionen (NDF, ADF und ADL). Sie sind extrem von der Nutzung beeinflusst. Beim verspäteten 1. Schnitt der naturschutzorientierten Nutzung C1 ist der Gehalt von diesen Faserbestandteilen signifikant höher als bei intensiver Nutzung A1 und B1.

Besonders starke Veränderungen zeigen sich im Gehalt an den Ligninfraktionen in Abhängigkeit von der Nutzung zum ersten Schnitt. Beim spät geschnittenen 1. Aufwuchs C1 steigt der Gehalt von ADL deutlich an, d. h., mit zunehmendem Alter nimmt dieser Gehalt deutlich zu. Die Nutzung C weist einen um das Doppelte erhöhten ADL-Gehalt auf.

Beim zweiten Aufwuchs ist die Variationsbreite der gemessenen Parameter niedriger als zum ersten Schnitt, aber die Variationsbreite für ADL liegt zwischen 26...78 g/kg TS (s. Anhangstabelle 19) höher als beim ersten Schnitt.

Die unterschiedliche Bestandszusammensetzung zeigt auch bei diesem Aufwuchs beinahe keine Wirkung auf die Faserbestandteile. Der Gehalt an Faserbestandteilen ist hier geringer als beim ersten Aufwuchs, aber der ADL-Gehalt höher.

Die Nutzungsintensität hat auch beim zweiten Aufwuchs eine bedeutende Wirkung auf die Veränderung der Faserbestandteile. Mit geringer Nutzungsintensität steigt der ADL-Gehalt stark an. Dieser Gehalt ist bei C2 30 % höher als bei A2. Es wurde nicht erwartet, daß der ADF- bzw. ADL-Gehalt bei Variante B2 höher als bei C2 liegt.

In der Tabelle 12 sind die Ligninfraktionen ADL, welches im Wesentlichen dem Kernlignin entspricht, säurelösliches Lignin und die Summe aus beiden, das Gesamtlignin dargestellt.

Der ADL-Anteil aus Gesamtlignin liegt zwischen 16 und 59 %. Die Variationsbreite vom löslichen und Gesamt-Lignin schwanken beim ersten Aufwuchs zwischen 38...126 g/kg TS und 80...150 g/kg TS (s. Anhangstabelle 18).

Die gegensätzliche Tendenz ist für das säurelösliche Lignin zu verzeichnen. Der Gehalt an Gesamtlignin ist relativ ausgeglichen und weist in der Nutzungsart B die höchsten Gehalte auf. Das resultiert aus dem deutlich höheren Gehalt an löslichem Lignin in dieser Nutzungsart. Durch die Nutzungsintensität wurde der Gehalt an löslichem Lignin stark beeinflusst. Mit zunehmendem Alter und geringer Nutzungshäufigkeit sinkt dieser Gehalt ab. Der Gehalt an Gesamtlignin war dagegen nur wenig unterschiedlich.

Beim zweiten Aufwuchs variieren der Gehalt an löslichem und Gesamtlignin zwischen 50...110 g/kg TS und 79...147 g/kg TS (s. Anhangstabelle 19). Für das lösliche Lignin ist die Variationsbreite etwas enger. Keine Unterschiede bestehen für das Gesamtlignin.

Der lösliche Lignin-Gehalt wurde durch die Bestandszusammensetzung beeinflusst. Bei Fläche 7 ist dieser Gehalt signifikant geringer als bei Fläche 5 und 6.

Beim ersten Aufwuchs variiert der Hemicellulose- und Cellulose-Gehalt zwischen 131...297g/kg TS und 218...313 g/kg TS (s. Anhangstabelle 18).

Der Gehalt an Hemicellulosen ist zwischen den drei Versuchsjahren signifikant unterschiedlich feststellbar. Dieser Gehalt liegt beim zweiten Jahr geringer als beim ersten und dritten Jahr.

Die unterschiedliche Bestandszusammensetzung (Fläche) hat keine Wirkung auf den Gehalt von Hemicellulosen bzw. Cellulose. Deutliche Auswirkung auf die beiden Zellwandbestandteile hat die Nutzungsintensität. Beim spät geschnittenen 1. Aufwuchs C1 ist der Cellulosegehalt signifikant höher als bei Nutzung A1 und B1. Der Hemicellulosegehalt ist von A1 und C1 beinahe gleich und signifikant höher als der von B1.

Beim zweiten Aufwuchs liegt Variationsbreite für Hemicellulosen bzw. Cellulose zwischen 102...250 g/kg TS bzw. 217...277 g/kg TS (s. Anhangstabelle 19).

Im Vergleich mit dem ersten Aufwuchs ist der Hemicellulose- und Cellulose-Gehalt im zweiten Aufwuchs geringer.

Der Hemicellulosegehalt ist im zweiten Versuchsjahr signifikant geringer als im ersten und dritten Jahr. Auch beim zweiten Aufwuchs zeigt die Nutzungsintensität die stärkste Wirkung auf den Hemicellulose- und Cellulosegehalt, aber nicht so stark wie beim ersten Schnitt. Es wird nicht erwartet, daß die intensive Nutzung A2 den höchsten Anteil an Hemicellulosen hat.



Tabelle 12: Zellwandbestandteile der Pflanzenbestände in den 1. und 2. Aufwüchsen

Einflussfaktoren			Zellwandbestandteile in g/kg TS						
Schnitt		n	NDF	Hemi.	ADF	Cellul.	ADL	Lignin <sup>1</sup>	ges. Lign
1.	Signifikanz:		**	***	n. s.	n. s.	n. s.	***	***
	<b>Jahr:</b>								
		96	7	576 <sup>b</sup>	269 <sup>c</sup>	307	274	33	97 <sup>b</sup>
		97	9	499 <sup>a</sup>	200 <sup>a</sup>	299	262	37	68 <sup>a</sup>
		98	8	537 <sup>b</sup>	232 <sup>b</sup>	306	274	32	59 <sup>a</sup>
	Signifikanz:		n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
	<b>Fläche:</b>								
		5	8	524	227	296	264	33	77
		6	9	547	240	307	272	35	74
		7	7	542	233	309	275	34	73
	Signifikanz:		***	***	***	***	***	***	*
	<b>Nutzung:</b>								
		A	8	531 <sup>b</sup>	247 <sup>b</sup>	284 <sup>a</sup>	259 <sup>a</sup>	24 <sup>a</sup>	79 <sup>b</sup>
		B	7	488 <sup>a</sup>	209 <sup>a</sup>	279 <sup>a</sup>	254 <sup>a</sup>	24 <sup>a</sup>	91 <sup>c</sup>
		C	9	593 <sup>c</sup>	245 <sup>b</sup>	349 <sup>b</sup>	297 <sup>b</sup>	52 <sup>b</sup>	55 <sup>a</sup>
2.	Signifikanz:		n. s.	*	*	*	**	***	***
	<b>Jahr:</b>								
		96	5	512	228 <sup>b</sup>	291 <sup>b</sup>	251 <sup>ab</sup>	33 <sup>a</sup>	102 <sup>b</sup>
		97	8	474	184 <sup>a</sup>	288 <sup>a</sup>	241 <sup>a</sup>	50 <sup>b</sup>	73 <sup>a</sup>
		98	7	506	217 <sup>b</sup>	293 <sup>c</sup>	257 <sup>b</sup>	32 <sup>a</sup>	59 <sup>a</sup>
	Signifikanz:		n. s.	n. s.	**	n. s.	n. s.	*	n. s.
	<b>Fläche:</b>								
		5	7	483	197	282 <sup>a</sup>	249	37	81 <sup>b</sup>
		6	8	495	213	282 <sup>a</sup>	244	39	86 <sup>b</sup>
		7	5	515	219	308 <sup>b</sup>	255	40	67 <sup>a</sup>
	Signifikanz:		n. s.	**	**	**	**	*	n. s.
	<b>Nutzung:</b>								
		A	8	494	228 <sup>b</sup>	268 <sup>a</sup>	238 <sup>a</sup>	28 <sup>a</sup>	84 <sup>b</sup>
		B	6	497	196 <sup>a</sup>	314 <sup>c</sup>	254 <sup>b</sup>	48 <sup>b</sup>	69 <sup>a</sup>
		C	6	502	206 <sup>ab</sup>	290 <sup>b</sup>	257 <sup>b</sup>	40 <sup>b</sup>	82 <sup>ab</sup>

Signifikanz im F-Test ( $\alpha < 0,05$ ; bei Signifikanz folgt LSD-Test). Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte pro Faktor sind signifikant: \*  $\alpha < 0,05$ ; \*\*  $\alpha < 0,01$ ; \*\*\*  $\alpha < 0,001$ ; NDF: Neutral-Detergentien-Faser; ADF: Säure-Detergentien-Faser; ADL: Säure-Detergentien-Lignin; 1 = säurelösliches Lignin; ges. Lign: Gesamtlignin; Hemi.: Hemicellulosen; Cellul.: Cellulose.

Xylose und Arabinose sind Hauptbestandteile der Hemicellulosen. Der Xylose- und Arabinose-Gehalt schwankt beim ersten Schnitt zwischen 84...159 g/kg TS und 23...39 g/kg TS (s. Anhangstabelle 20).

Abhängigkeiten zu den geprüften Variablen ergeben sich nicht in der gleichen eindeutigen Tendenz wie für die Faserkomponenten.

Die Bestandszusammensetzung zeigt einen signifikanten Einfluß auf den Xyloseanteil in % Hemicellulosen. Dieser Gehalt ist bei Fläche 7 signifikant höher als bei Fläche 5 und 6. Bei Fläche 7 wurde auch eine geringe Steigerung des Xylose:Arabinose Verhältnisses im Vergleich mit Fläche 5 und 6 festgestellt. Auch das Xylose:Arabinose Verhältnis der Variante C steigt nur gering an im Vergleich mit Variante A und B. Das ist eine Erhöhung um 26 %.

Tabelle 13: Zellwandkohlenhydratmonomere (ZWK) und phenolische Säuren der Pflanzenbestände in den 1. und 2. Aufwüchsen

Einflussfaktoren										
Schnitt		n	Xyl	Ara	Xyl:Ara	Xyl in %	n	pCA	FA	pCA:FA
			g/kg TS			Hemi.		g/kg TS		
Signifikanz:			*	*	n. s.	*		n. s.	n. s.	n. s.
1.	<b>Jahr:</b>	96	6	145 <sup>b</sup>	37 <sup>c</sup>	3,95	54 <sup>a</sup>	-	-	-
		97	9	119 <sup>a</sup>	27 <sup>a</sup>	4,38	60 <sup>b</sup>	9	1,9	2,5
		98	8	136 <sup>b</sup>	32 <sup>b</sup>	4,31	59 <sup>a</sup>	8	2,2	2,9
	Signifikanz:			n. s.	n. s.	*	*	*	n. s.	*
	<b>Fläche:</b>	5	8	127	32	3,97 <sup>a</sup>	57 <sup>a</sup>	5	1,5 <sup>a</sup>	2,5
		6	8	133	33	4,10 <sup>a</sup>	56 <sup>a</sup>	6	2,4 <sup>b</sup>	2,7
		7	7	140	31	4,57 <sup>b</sup>	61 <sup>b</sup>	6	2,3 <sup>b</sup>	2,8
	Signifikanz:			**	n. s.	**	n. s.	n. s.	**	*
	<b>Nutzung:</b>	A	7	135 <sup>ab</sup>	34	3,95 <sup>a</sup>	55	6	2,3	3,3 <sup>c</sup>
		B	7	120 <sup>a</sup>	31	3,94 <sup>a</sup>	59	5	1,9	2,7 <sup>b</sup>
		C	9	145 <sup>b</sup>	31	4,76 <sup>b</sup>	60	6	2,0	2,0 <sup>a</sup>
2.	Signifikanz:			**	**	n. s.	*	n. s.	n. s.	n. s.
	<b>Jahr:</b>	96	4	126 <sup>b</sup>	37 <sup>b</sup>	3,38	53 <sup>ab</sup>	-	-	-
		97	8	97 <sup>a</sup>	26 <sup>a</sup>	3,74	52 <sup>a</sup>	8	1,2	1,8
		98	7	122 <sup>b</sup>	36 <sup>b</sup>	3,42	56 <sup>b</sup>	7	1,7	2,5
	Signifikanz:			**	n. s.	*	**	**	*	**
	<b>Fläche:</b>	5	7	104 <sup>a</sup>	33	3,24 <sup>a</sup>	52 <sup>a</sup>	5	1,1 <sup>a</sup>	1,9 <sup>a</sup>
		6	7	115 <sup>ab</sup>	36	3,28 <sup>a</sup>	52 <sup>a</sup>	6	1,5 <sup>b</sup>	2,4 <sup>b</sup>
		7	5	125 <sup>b</sup>	32	4,02 <sup>b</sup>	57 <sup>b</sup>	4	1,8 <sup>b</sup>	2,2 <sup>ab</sup>
	Signifikanz:			*	**	n. s.	n. s.	*	**	n. s.
	<b>Nutzung:</b>	A	8	120 <sup>b</sup>	34 <sup>b</sup>	3,59	53	6	1,7 <sup>b</sup>	2,5 <sup>b</sup>
		B	6	107 <sup>a</sup>	29 <sup>a</sup>	3,79	54	5	1,2 <sup>a</sup>	1,9 <sup>a</sup>
		5	5	118 <sup>b</sup>	37 <sup>b</sup>	3,16	54	4	155 <sup>ab</sup>	212 <sup>ab</sup>

Signifikanz im F-Test ( $\alpha < 0,05$ ; bei Signifikanz folgt LSD-Test). Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte pro Faktor sind signifikant: \*  $\alpha < 0,05$ ; \*\*  $\alpha < 0,01$ ; \*\*\*  $\alpha < 0,001$ . – keine Daten; Xyl: Xylose; Ara: Arabinose; Hemi.: Hemicellulosen; pCA: p-Cumarsäure; FA: Ferulasäure.

Die Variationsbreite der Xylose- und Arabinose-Gehalte liegt beim zweiten Schnitt zwischen 52...139 g/kg TS und 12...45 g/kg TS (s. Anhangstabelle 21).

Der Xylosegehalt liegt im zweiten Schnitt niedriger als im ersten Schnitt. Die Nutzungsintensität scheint hier eine stärkere Wirkung auf den Gehalt von Arabinose als von Xylose zu haben.

In der Tendenz haben Xylose und Arabinose die gleichen Einflussfaktoren wie die Rohrnährstoffe bzw. Faserfraktionen, z. T. war der Jahreseinfluss bzw. die Auswirkung der Bestandszusammensetzung auf die beiden Bestandteile signifikant unterschiedlich. Aber die Auswirkung von der Nutzung auf Xylose und Arabinose war nicht so stark wie auf den Gehalt von Rohrnährstoffen bzw. Faserfraktionen (Vgl. Tab. 10, 12 und 13).

P-Cumarsäure (pCA) und Ferulasäure (FA) sind Nichtkern-Ligninkomponenten und stellen eine Quervernetzung zwischen Lignin und den Zellwandkohlenhydraten her.

Beim ersten Aufwuchs schwanken der p-Cumarsäure- und Ferulasäure-Gehalt zwischen 0,6...3,6 (g/kg TS) und 1,3...3,8 (g/kg TS) und zum 2. Schnitt zwischen 0,5...2,3 (g/kg TS) und 1,0...3,1 (g/kg TS) (s. Anhangstabelle 20 u. 21). Auch hier ist die Schwankungsbreite im 2. Aufwuchs enger.

Der in der Literatur beschriebene Zusammenhang zwischen Pflanzenreife und pCA:FA Verhältnis ist für den ersten Aufwuchs gegeben; die Nutzung C zeigt höhere Werte als A und B.

Die Pflanzenzusammensetzung der Bestände hat auch Einfluss auf den Gehalt von p-Cumarsäure. Der Gehalt auf Fläche 5 ist statistisch gesichert niedriger als auf Flächen 6 und 7. Die Variable "Jahr" hat keinen gerichteten Einfluss auf die Gehalte an phenolischen Säuren.

Nach diesen Ergebnissen ist festzustellen, daß die Variablen "Jahr" und "Flächen" (Bestandszusammensetzung) bei den geprüften Beständen nur einen geringen Einfluss auf die chemische Zusammensetzung haben. Das Nutzungsregime, welches in engem Zusammenhang mit der Pflanzenreife steht, wirkte sich stark auf die Zusammensetzung der analysierten Rohnährstoffe, Faserbestandteile und Hemicellulosemonomere sowie die phenolischen Säuren aus. Besonders große Unterschiede bestehen zwischen Nutzungsart und dem ADL-Gehalt, die zwischen den Nutzungen A und B bzw. C über 100 % betragen. Im 2. Schnitt sind die Differenzen, wenn vorhanden, wesentlich geringer ausgeprägt.

#### **4.2 In vivo Verdaulichkeit der ausgewählten Rohnährstoffe und der Zellwandbestandteile der Bestände**

Bei Betrachtung der Einzelwerte der Verdaulichkeitsuntersuchungen ergeben sich Werte der Verdaulichkeit der OS zwischen 53,8...81,4 % (Schnitt 1) und zwischen 60,4...78,6 % (Schnitt 2) (s. Anhangstabelle 22 u. 23). Insgesamt 12 % der Proben weisen eine Verdaulichkeit der OS von < 60 % auf, diese Proben stammen alle aus dem ersten Schnitt der extensiven Nutzung C (Vgl. Anhangstabelle 22).

Die in vivo Verdaulichkeit der ausgewählten Rohnährstoffe und der Zellwandbestandteile sind in Tabelle 14 zusammengefasst.

Tabelle 14: In vivo Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und der Zellwandbestandteile

Einflussfaktoren			in vivo-Verdaulichkeit in % TS								
Schnitt			n	VQ <sub>OS</sub>	VQ <sub>XP</sub>	VQ <sub>XF</sub>	n	VQ <sub>NDF</sub>	VQ <sub>ADF</sub>	VQ <sub>ADL</sub>	
1.	Signifikanz:			*	**	**		n. s.	n. s.	u. v.	
	<b>Jahr:</b>	96	7	72,4 <sup>b</sup>	62,8 <sup>b</sup>	75,0 <sup>b</sup>	6	73,1	69,4	-23,7	
		97	9	70,9 <sup>ab</sup>	64,9 <sup>b</sup>	72,8 <sup>b</sup>	9	70,0	67,7	-21,7	
		98	8	68,6 <sup>a</sup>	53,6 <sup>a</sup>	67,9 <sup>a</sup>	8	67,2	65,3	-33,6	
	Signifikanz:			**	**	**		*	*	u. v.	
	<b>Fläche:</b>	5	8	71,6 <sup>b</sup>	65,2 <sup>b</sup>	73,8 <sup>b</sup>	7	73,1 <sup>b</sup>	70,8 <sup>b</sup>	-37,3	
		6	9	71,6 <sup>b</sup>	60,6 <sup>b</sup>	73,2 <sup>b</sup>	9	70,9 <sup>b</sup>	68,4 <sup>b</sup>	-19,4	
		7	7	68,7 <sup>a</sup>	55,5 <sup>a</sup>	68,6 <sup>a</sup>	7	66,3 <sup>a</sup>	63,2 <sup>a</sup>	-22,4	
	Signifikanz:			***	***	***		***	***	u. v.	
	<b>Nutzung:</b>	A	8	75,8 <sup>b</sup>	71,1 <sup>b</sup>	79,8 <sup>b</sup>	8	77,2 <sup>b</sup>	74,4 <sup>b</sup>	-45,5	
		B	7	76,2 <sup>b</sup>	68,2 <sup>b</sup>	79,6 <sup>b</sup>	6	76,8 <sup>b</sup>	74,8 <sup>b</sup>	-33,5	
		C	9	60,0 <sup>a</sup>	41,9 <sup>a</sup>	56,1 <sup>a</sup>	9	56,3 <sup>a</sup>	53,1 <sup>a</sup>	-0,1	
	2.	Signifikanz:			*	n. s.	**		**	**	u. v.
		<b>Jahr:</b>	96	5	70,9 <sup>b</sup>	60,1	74,0 <sup>b</sup>	5	71,0 <sup>b</sup>	68,2 <sup>b</sup>	-20,7
			97	8	66,5 <sup>a</sup>	62,1	65,9 <sup>a</sup>	8	59,0 <sup>a</sup>	52,6 <sup>a</sup>	-37,5
		98	5	68,0 <sup>ab</sup>	54,7	67,8 <sup>ab</sup>	5	65,0 <sup>b</sup>	62,7 <sup>b</sup>	-28,8	
Signifikanz:				n. s.	**	n. s.		n. s.	n. s.	u. v.	
<b>Fläche:</b>		5	7	70,1	64,7 <sup>b</sup>	70,4	7	65,4	62,1	-31,2	
		6	7	69,9	62,8 <sup>b</sup>	70,2	7	66,2	61,5	-26,1	
		7	4	65,4	49,4 <sup>a</sup>	67,2	4	63,4	59,9	-29,7	
Signifikanz:				*	n. s.	*		*	*	u. v.	
<b>Nutzung:</b>		A	8	71,7 <sup>b</sup>	65,2	73,5 <sup>b</sup>	8	69,6 <sup>b</sup>	66,1 <sup>b</sup>	-41,7	
		B	6	67,0 <sup>a</sup>	57,8	66,9 <sup>a</sup>	6	65,2 <sup>ab</sup>	60,8 <sup>ab</sup>	-21,7	
		C	4	66,7 <sup>a</sup>	53,9	67,4 <sup>ab</sup>	4	60,3 <sup>a</sup>	56,6 <sup>a</sup>	-23,6	

Signifikanz im F-Test ( $\alpha < 0,05$ ; bei Signifikanz folgt LSD-Test); unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte pro Faktor sind signifikant: \*  $\alpha < 0,05$ ; \*\*  $\alpha < 0,01$ ;  $\alpha < 0,001$ ; n. s. : nicht signifikant. u. v.: unverdaulich. VQ<sub>OS</sub>: Verdaulichkeitsquotient der organischen Substanz; VQ<sub>XP</sub>: Verdaulichkeitsquotient des Rohproteins; VQ<sub>XF</sub>: Verdaulichkeitsquotient der Rohfaser; VQ<sub>NDF</sub>: Verdaulichkeitsquotient der Neutral-Detergentien-Faser; VQ<sub>ADF</sub>: Verdaulichkeitsquotient der Säure-Detergentien-Faser; VQ<sub>ADL</sub>: Verdaulichkeitsquotient des Säure-Detergentien-Lignins.

Alle geprüften Faktoren haben beim 1. Schnitt einen Einfluß auf die Verdaulichkeit. Das ist unerwartet, da die chemische Zusammensetzung der Bestände diese deutlichen Differenzen nicht zeigte.

Die größten Unterschiede bestehen in Abhängigkeit von der Nutzung ( $p < 0,001$ ). Die Verdaulichkeit der OS ist bei Var. C1 um 21 %, die Rohproteinverdaulichkeit um 41 % und die Verdaulichkeit der Faserfraktion um 30 % geringer als bei A1 und B1.

In Abhängigkeit von der Bestandszusammensetzung zeigt die Fläche 7 (Rohrschwengel als Hauptbestandbildner) geringere Verdaulichkeiten für alle geprüften Parameter als die Flächen 5 und 6.

Auch der Jahreseinfluss ist signifikant mit den geringsten Werten im Jahr 1998. Es ist zu beachten, daß in diesem Jahr die Durchschnittstemperaturen am höchsten waren, besonders

war im ersten Halbjahr eine deutliche Temperatursteigerung zu verzeichnen. Außerdem waren die Monate Februar und Mai extrem trocken. Als Vegetationsbeginn wurde der 09. Februar angegeben. Das war wesentlich früher als im Jahr 1996 (05. April) und im Jahr 1997 (20. Februar) etwa gleichzeitig.

Auf Grund der größeren Ausgeglichenheit hinsichtlich der Reifegrade sind die Unterschiede im zweiten Aufwuchs nicht so deutlich.

Die Nutzungsregimes haben einen stärksten Einfluss auf die Futterwertmerkmale als die anderen geprüften Faktoren (Jahr und Bestandszusammensetzung). Besonders die verspätete Nutzung der ersten Aufwüchse (naturschutzorientierte Nutzung) führte zur geringsten Verdaulichkeit.

Um zu sehen, ob sich die Verdaulichkeit der Faser ähnlich verhält wie die Verdaulichkeit der organischen Substanz, berechneten wir die Korrelation zwischen der in vivo Verdaulichkeit von ADF und der Verdaulichkeit der organischen Substanz.

Die Abbildung 12 zeigt die Ergebnisse als positive Korrelation zwischen in vivo Verdaulichkeit der organischen Substanz und dem Abbau von ADF.

Es ergibt sich eine enge Korrelation zwischen den beiden Parametern bei der Probengesamtheit. Die beste Korrelation liegt beim 1. Aufwuchs und bei der intensiven Nutzung A. Am schwächsten ist die Korrelation zwischen den beiden Verdaulichkeiten bei extensiver Nutzung C.

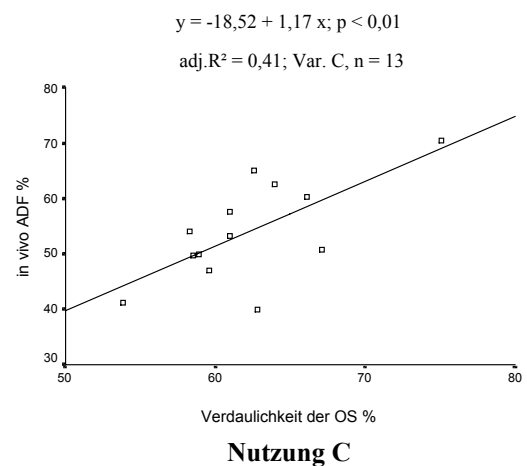
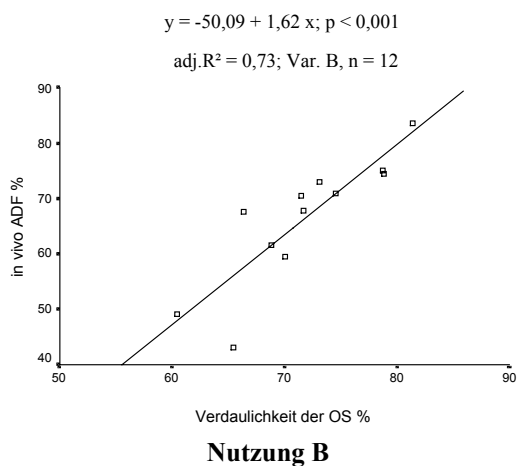
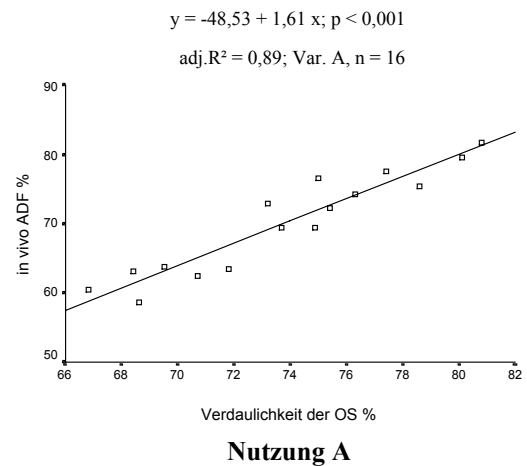
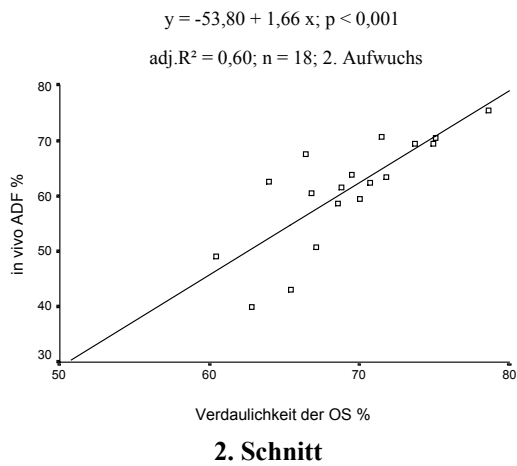
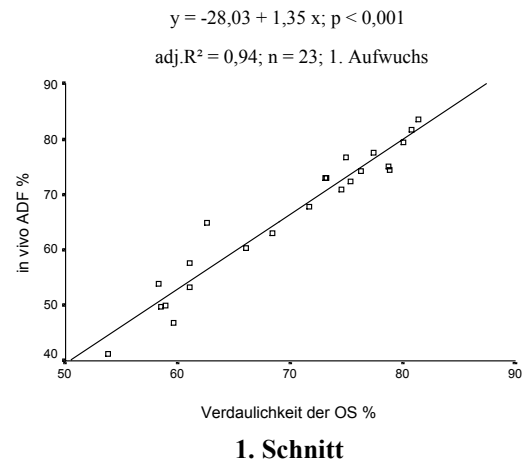
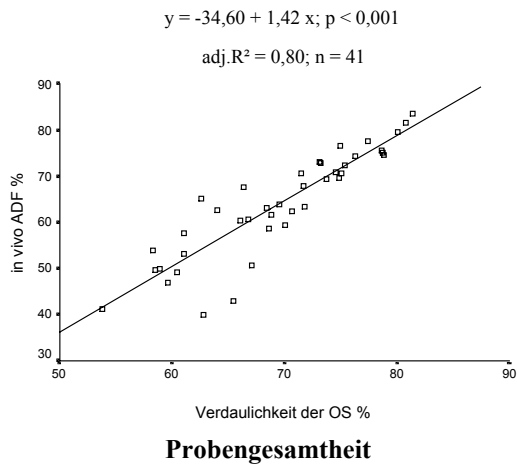


Abbildung 12: Regression der in vivo Verdaulichkeit der OS zur ADF-Verdaulichkeit bei der Probengesamtheit und in Abhängigkeit vom Schnitt und der Nutzung

#### **4.3 Beziehungen zwischen der chemischen Zusammensetzung der Zellwandkohlenhydrate und den Verdaulichkeiten der organischen Substanz**

Da die Verdaulichkeit der OS besonders von der chemischen Zusammensetzung der Zellwandkohlenhydrate abhängt, wurden die Korrelationskoeffizienten zwischen der in vivo Verdaulichkeit der organischen Substanz und verschiedener Parameter der Zellwand berechnet. Der Ansatzpunkt für diese Berechnung war es zu prüfen, welche Zellwandbestandteile im engsten Zusammenhang zur in vivo Verdaulichkeit stehen.

Alle Berechnungen erfolgten sowohl für die Probengesamtheit als auch getrennt nach dem ersten und zweiten Schnitt bzw. nach der Nutzungsvariante (A, B und C). Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 12 und 13 und in den Tabellen 15 bis 20 zusammengefasst.

Neben den in der Literatur ausführlich beschriebenen Korrelationen (Rohfaser, Detergenzienfaser, Lignifizierungsgrad: SMITH et al., 1970; SÜDEKUM et al., 1990; FALES et al., 1991) wurden die Gehalte an Hemicellulosemonomeren, das Xyl:Ara- Verhältnis, das lösliche Lignin und Gesamtlignin (Summe aus ADL und löslichem Lignin) in die Berechnungen einbezogen.

Die Auswahl der angeführten Parameter erfolgte aus der Erkenntnis, daß diese in enger Beziehung zum Grad der Inkrustierung der Pflanzen stehen müssen. Lignin ist der Hauptfaktor, der die Verdaulichkeit von Futterpflanzen reduziert. p-Cumarsäure und Ferulasäure stellen die Quervernetzung zwischen Lignin und den Zellwandkohlenhydraten her. Hohe Gehalte sind daher ein Hinweis auf einen hohen Vernetzungsgrad, der die Verdaulichkeit verringert. Das Xylose:Arabinose Verhältnis spiegelt den Reifegrad der Gräser wider. Ein hohes Xylose:Arabinose Verhältnis charakterisiert reife Futterpflanzen mit niedriger Verdaulichkeit.

Einfache lineare und nichtlineare (quadratische) Regressionsgleichungen zu einzelnen Parametern als auch multiple (lineare und quadratische) Regressionsgleichungen von verschiedenen Kombinationen der Faserparameter wurden in die Berechnungen einbezogen.

Die Regressionsgleichungen für die Gesamtheit der Pflanzenbestände sind in Abbildung 12 und in den Tabellen 15 und 16 dargestellt.

Die Abbildung 12 veranschaulicht die einfachen linearen Regressionsgleichungen zwischen der Verdaulichkeit, der organischen Substanz und der ausgewählten Zellwandbestandteile.

Im Vergleich zwischen linearen und quadratischen Funktionen der Regression ergaben die quadratischen Funktionen in der Regel keine engere Korrelation als die linearen Funktionen.

Wie die Abbildung 13 veranschaulicht, besteht eine enge negative Korrelation zwischen der Verdaulichkeit der OS und ADF, ADL bzw. dem Verhältnis von ADL:Gesamtlignin. Der Rohfasergehalt hat eine schwächere negative Korrelation und ist mit  $\text{adj.}R^2 = 0,43$  unerwartet niedrig. Eine enge Korrelation für den Lignifizierungsgrad konnte bei den vorliegenden Ergebnissen nicht nachgewiesen werden. Die größte Streuung hat das Xyl:Ara Verhältnis und ergibt eine schlechte negative Korrelation zur Verdaulichkeit der OS.

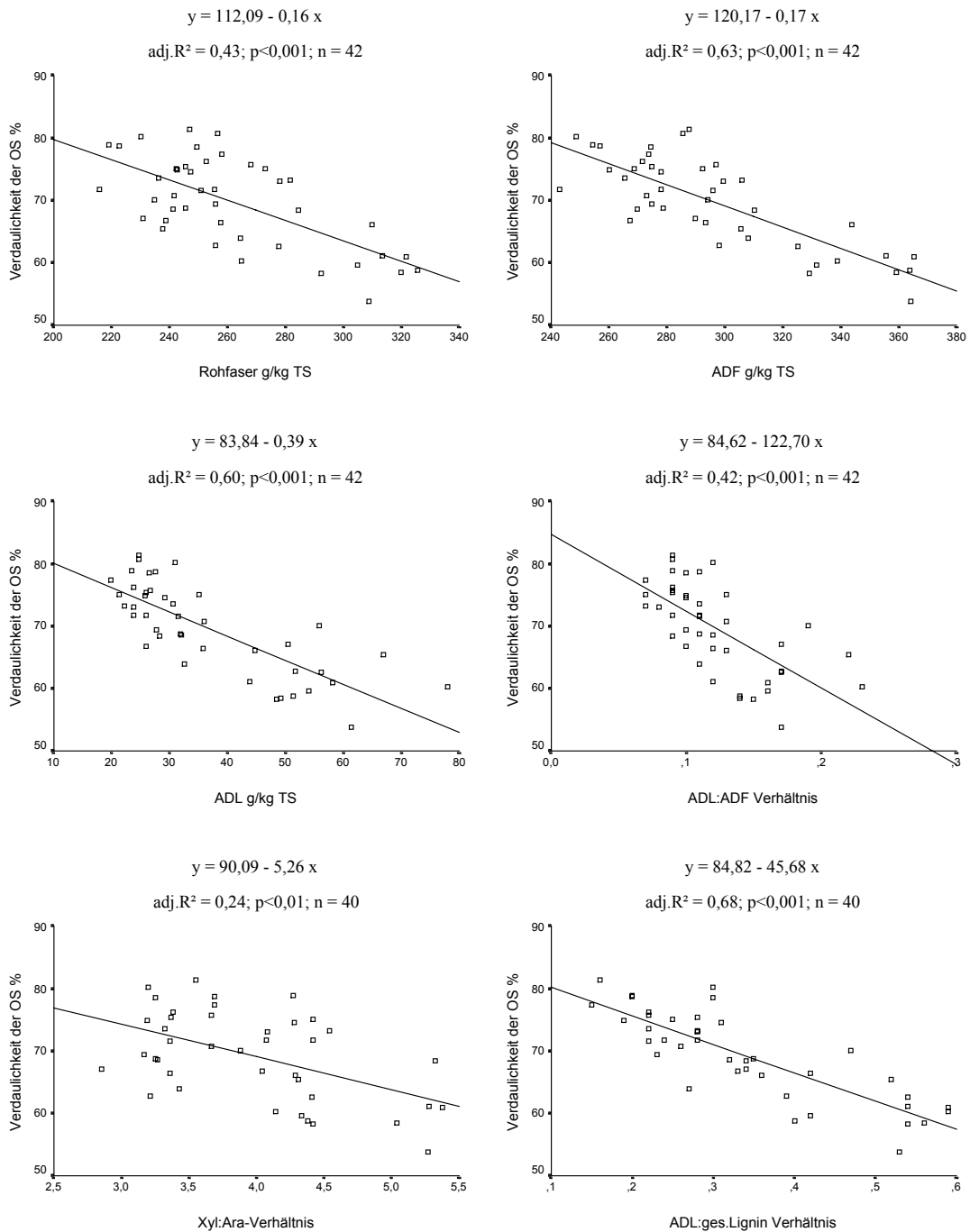


Abbildung 13: Regression der Verdaulichkeit der OS zu verschiedenen Zellwandbestandteilen (Probengesamtheit)

Weiterhin zeigt die Tabelle 15 die einfachen linearen und nichtlinearen Regressionen zwischen der Verdaulichkeit der OS und den Zellwandbestandteilen.

Es besteht keine Korrelation zwischen Xylose und der Verdaulichkeit der OS für die lineare Funktion und eine schwache Korrelation für die quadratische Funktion. Die anderen Zellwandkohlenhydratmonomere (Arabinose, pCA und FA) ergeben keine Korrelation zur in vivo Verdaulichkeit der OS (nicht dargestellt). Das säurelösliche Lignin erreicht nur eine



schwache Korrelation, das Verhältnis vom säurelöslichen Lignin:ADL hat jedoch eine engere Korrelation zur Verdaulichkeit.

Tabelle 15: Einfache lineare und nichtlineare Regression: der Zusammenhang zwischen der in vivo Verdaulichkeit der OS und den Zellwandbestandteilen

lineare Funktion	adj. R <sup>2</sup>	Signifik.	n	quadratische Funktion	adj. R <sup>2</sup>	Signifik.	n
Y = VQ <sub>OS</sub> =				Y = VQ <sub>OS</sub> =			
<b>Herkömmliche Faserkomponente:</b>							
112,09 – 0,16 XF	<b>0,43</b>	***	42	90,49 – 0,0003 XF <sup>2</sup>	<b>0,44</b>	***	42
100,71 – 0,06 NDF	<b>0,22</b>	**	42	85,74 – 0,00006 NDF <sup>2</sup>	<b>0,24</b>	**	42
120,17 – 0,17 ADF	<b>0,64</b>	***	42	94,34 – 0,0003 ADF <sup>2</sup>	<b>0,64</b>	***	42
83,84 – 0,39 ADL	<b>0,60</b>	***	42	96,84 – 1,07 ADL – 0,01 ADL <sup>2</sup>	<b>0,64</b>	***	42
<b>Hemicellulosebestandteile:</b>							
79,62 – 0,09 Xylose	<b>0,06</b>	n. s.	40	35,40 + 0,72 Xylose – 0,004 Xylose <sup>2</sup>	<b>0,20</b>	**	40
90,09 – 5,26 (Xyl:Ara)	<b>0,24</b>	**	40	79,78 – 0,65 (Xyl:Ara) <sup>2</sup>	<b>0,25</b>	**	40
<b>Lignifizierungsgrad und das säurelösliche Lignin:</b>							
80,43 – 151,93 ADL:NDF	<b>0,35</b>	***	42	-	-	-	42
84,62 – 122,70 ADL:ADF	<b>0,42</b>	***	42	101,78 – 319,05 ADL:ADF – 952,49 (ADL:ADF) <sup>2</sup>	<b>0,47</b>	***	42
56,29 + 0,18 lösli. Lign	<b>0,31</b>	***	40	-	-	-	-
58,39 + 4,61 lösli. Lign:ADL	<b>0,64</b>	***	40	53,35 + 9,39 lösli. Lign:ADL – 0,89 (lösli. Lignin:ADL) <sup>2</sup>	<b>0,69</b>	***	40
84,82 - 45,68 ADL:Gesamtlinin	<b>0,68</b>	***	40	-	-	-	-

- keine Korrelation; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001; XF: Rohfaser; NDF: Neutrag-Detergentien-Faser; ADF: Säure-Detergentien-Faser; ADL: Säure-Detergentien-Lignin; Lignifizierungsgrad (ADL:NDF bzw. ADL:ADF); lösli. Lign: säurelösliches Lignin; VQ<sub>OS</sub>: Verdaulichkeitsquotient der organischen Substanz.

Bei der multiplen Regression wurde die Beziehung zwischen der in vivo Verdaulichkeit der OS und der Kombination von ADL und herkömmlichen Faserkomponenten sowie von ADL und Hemicellulose- und phenolischen Monomeren und auch die Kombination von Lignifizierungsgrad und Xylose u. a. geprüft (Tabelle 16).

Die multiplen Regressionen ergaben engere Korrelationen als die einfachen. Die quadratische Funktion zeigt keine Verbesserung im Vergleich zur linearen.

ADL erreicht mit Rohfaser sowie mit ADF eine stärkere und sichere Beziehung zur in vivo Verdaulichkeit als die einfachen Regressionen. Ebenfalls eine enge Korrelation zur Verdaulichkeit haben auch die Kombinationen von ADL und Xylose sowie Xylose und Lignifizierungsgrad. Die Kombinationen von phenolischen Monomeren erreichen schwächere Korrelationen zur Verdaulichkeit im Vergleich mit der Kombination von ADL und herkömmlicher Faserkomponente. Bemerkenswert ist, daß die engste Beziehung zur Verdaulichkeit bestehen, wo die Regressionsgleichung ADL enthält.

Nach diesen Ergebnissen kann abgeleitet werden, daß die Kombination von zwei verschiedenen Zellwandbestandteilen eine sicherere und engere Korrelation zur Verdaulichkeit der OS erreicht als einzelne Zellwandbestandteile (einfache Regression). ADL bzw. Gesamtlignin sind der Schlüssel für diese geeignete Kombination.

Tabelle 16: Multiple lineare und nichtlineare Regression: der Zusammenhang zwischen der in vivo Verdaulichkeit der OS und der Zellwandbestandteile

lineare Funktion	adj.R <sup>2</sup>	Signifik.	n	quadratische Funktion	adj.R <sup>2</sup>	Signifik	n
Y = VQ <sub>OS</sub> =				Y = VQ <sub>OS</sub> =			
<b>Die Kombination von ADL und herkömmlicher Faserkomponente:</b>							
107,30 – 0,30 ADL	<b>0,75</b>	***	42	93,62 – 0,30 ADL – 0,0002 XF <sup>2</sup>	<b>0,74</b>	***	42
– 0,10 XF							
109,20 – 0,21 ADL	<b>0,74</b>	***	42	101,90–0,74 ADL+0,006 ADL <sup>2</sup> -0,0002 ADF <sup>2</sup>	<b>0,75</b>	***	42
– 0,11 ADF							
<b>Die Kombination von ADL und Hemicellulosemonomeren sowie phenolischen Säuren:</b>							
99,64 – 0,41 ADL	<b>0,78</b>	***	40	107,03 – 0,87 ADL + 0,005 ADL <sup>2</sup> - 0,11 Xylose	<b>0,79</b>	***	40
– 0,13 Xylose							
92,58 – 0,33 ADL	<b>0,67</b>	***	40	100,82 – 1,05 ADL + 0,008 ADL <sup>2</sup> - 0,36 Xyl:Ara	<b>0,72</b>	***	40
– 2,79 Xyl:Ara							
88,03 – 0,31 ADL	<b>0,64</b>	***	30	-	-	-	-
– 9,93 pCA:FA							
<b>Die Kombination von Lignifizierungsgrad und Xylose:</b>							
111,73 – 0,19 Xylose	<b>0,76</b>	***	40	-	-	-	-
– 162,26 ADL:ADF							
111,26 – 0,21 Xylose	<b>0,76</b>	***	40	117,37 – 0,19 Xylose – 444,60 ADL:NDF + 1225,78 (ADL:NDF) <sup>2</sup>	<b>0,78</b>	***	40
– 227,55 ADL:NDF							
<b>Die Kombination von phenolischen Säuren, Xylose und löslichem Lignin:</b>							
57,17 + 10,07 FA	<b>0,42</b>	***	30	53,71 + 8,49 FA – 1,42 pCA <sup>2</sup>	<b>0,39</b>	***	30
7,03 pCA							
74,35 + 10,29 FA	<b>0,69</b>	***	30	61,15 + 9,79 FA – 0,001 Xylose <sup>2</sup>	<b>0,71</b>	***	30
0,26 Xylose							
44,07 + 4,52 FA	<b>0,51</b>	***	30	49,20 + 0,91 FA <sup>2</sup> + 0,21 lösli. Lign	<b>0,51</b>	***	30
0,21 lösli. Lign							

- keine Korrelation; \*\*\* p < 0,001; XF: Rohfaser; NDF: Neutrag-Detergentien-Faser; ADF: Säure-Detergentien-Faser; ADL: Säure-Detergentien-Lignin; Lignifizierungsgrad (ADL:NDF bzw. ADL:ADF); lösli. Lign: säurelösliches Lignin; pCA: p-Cumarsäure; FA: Ferulasäure; VQ<sub>OS</sub>: Verdaulichkeitsquotient der organischen Substanz.

Die Datensätze wurden auch getrennt nach dem 1. und 2. Schnitt auf die Beziehung zur Verdaulichkeit der OS geprüft. Dabei ergaben sich die in Abbildung 13 und in den Tabellen 17 und 18 dargestellten Ergebnisse.

Die Abbildung 14 veranschaulicht die einfachen linearen Regressionen zwischen der Verdaulichkeit der OS und der ausgewählten Zellwandbestandteile aus dem 1. Schnitt.

Sehr enge Korrelationen für nahezu alle geprüften Parameter finden sich im 1. Schnitt. Die selbst ausgewählten Zellwandbestandteile erbrachten keine Steigerung der Korrelation im Vergleich zu den herkömmlichen Faserparametern. Die engste Korrelation besteht für die ADF bzw. ADL. Der Lignifizierungsgrad definiert als ADL:ADF ergab keine Steigerung der Korrelation. Der höchste Korrelationskoeffizient wurde für ADL:Gesamtlinin Verhältnis berechnet. Der Rohfasergehalt erreicht beim 1. Schnitt eine schwächere Korrelation zur in vivo Verdaulichkeit der OS als ADF bzw. ADL, ist aber im Vergleich zur Probengesamtheit enger.

Alle geprüften Parameter haben im 1. Schnitt deutlich engere Korrelationen als die aus der Probengesamtheit.

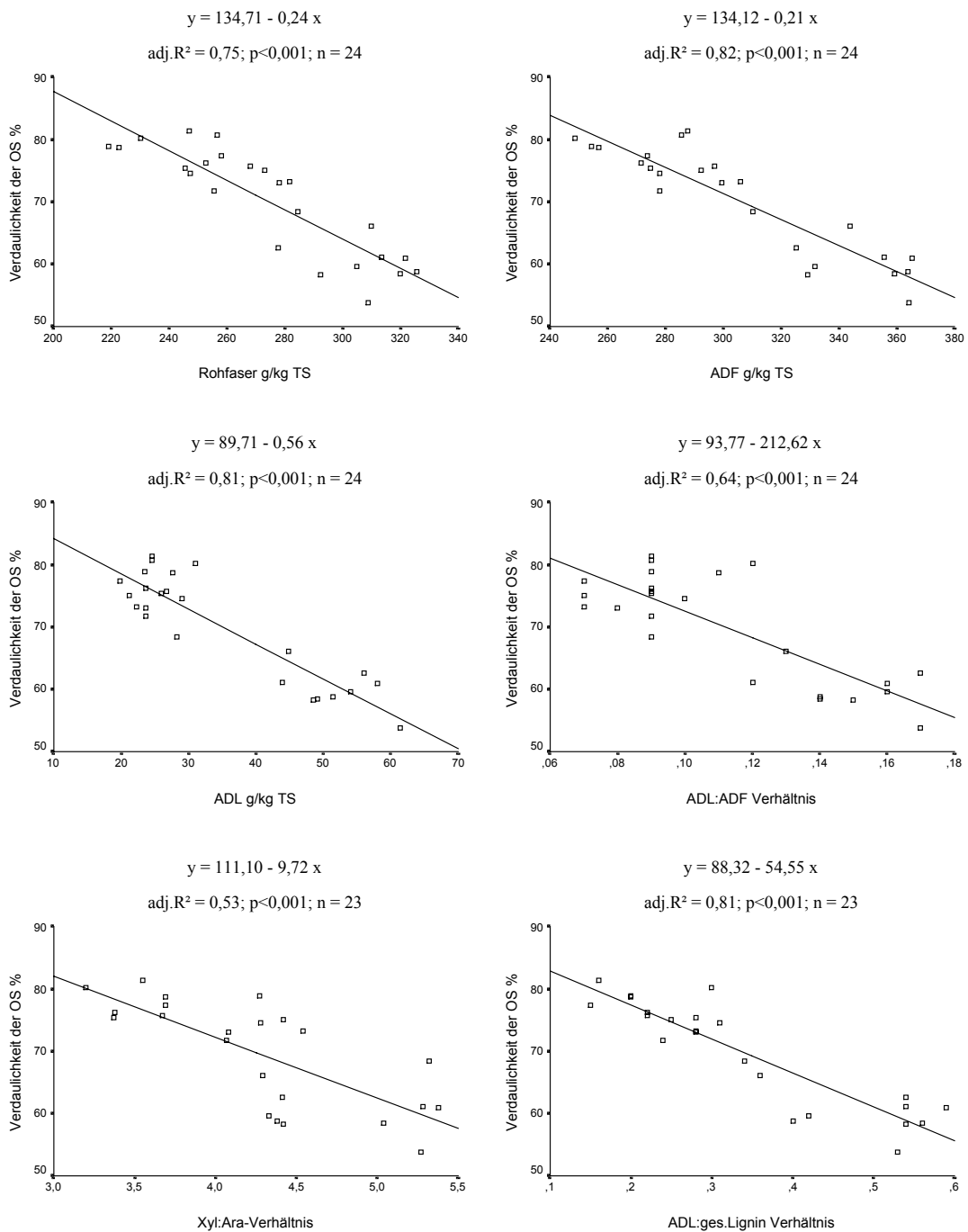


Abbildung 14: Regression der Verdaulichkeit der OS zu Zellwandbestandteilen, 1. Schnitt

Die Tabelle 17 fasst die einfache lineare Regression zwischen der Verdaulichkeit der OS und den Zellwandbestandteilen im 1. und 2. Schnitt zusammen.

Der Rohfasergehalt sowie ADF und ADL erreichen im 2. Schnitt eine sehr schwache Korrelation zur Verdaulichkeit der OS. Xylose, FA und das Verhältnis vom pCA:FA haben eine schwache Korrelation im 1. Schnitt und im 2. Schnitt keine Korrelation.

Insgesamt zeigt das Material aus dem 2. Schnitt wesentlich geringere bzw. keine Korrelation.

Tabelle 17: Einfache lineare Regression: der Zusammenhang zwischen der in vivo Verdaulichkeit der OS und der Zellwandbestandteile

Gleichung, <b>1. Schnitt</b>	<b>adj. R<sup>2</sup></b>	Signifik.	n	Gleichung, <b>2. Schnitt</b>	<b>adj. R<sup>2</sup></b>	Signifik.	n
Y = VQ <sub>OS</sub> =				Y = VQ <sub>OS</sub> =			
<b>Herkömmliche Faserkomponente:</b>							
134,71 – 0,24 XF	<b>0,75</b>	***	24	107,56 – 0,16 XF	<b>0,12</b>	n. s.	18
116,49 – 0,09 NDF	<b>0,40</b>	**	24	-	-	-	-
134,12 – 0,21 ADF	<b>0,82</b>	***	24	112,32 – 0,15 ADF	<b>0,49</b>	**	18
89,71 – 0,56 ADL	<b>0,81</b>	***	24	76,79 – 0,19 ADL	<b>0,37</b>	**	18
<b>Hemicellulosemonomeren und phenolische Säuren:</b>							
100,92 – 0,24 Xylose	<b>0,32</b>	**	23	-	-	-	-
111,10 – 9,72 Xyl:Ara	<b>0,53</b>	***	23	-	-	-	-
52,76 + 6,25 FA	<b>0,22</b>	*	17	-	-	-	-
83,51 – 17,78 pCA:FA	<b>0,22</b>	*	17	-	-	-	-
<b>Lignifizierungsgrad und das säurelösliche Lignin:</b>							
89,92 – 309,95 ADL:NDF	<b>0,60</b>	***	24	75,26 – 75,91 ADL:NDF	<b>0,27</b>	*	18
93,77 – 212,62 ADL:ADF	<b>0,64</b>	***	24	77,92 – 64,39 ADL:ADF	<b>0,30</b>	*	18
52,20 + 0,25 lösli. Lign	<b>0,46</b>	**	23	-	-	-	-
56,83 + 5,25 lösli.Lign:ADL	<b>0,73</b>	***	23	62,32 + 2,88 lösli.Lign:ADL	<b>0,37</b>	**	17
88,32 – 54,55 ADL:Gesamtlinn	<b>0,81</b>	***	23	77,76 – 26,46 ADL:Gesamtlinn	<b>0,39</b>	**	17

- keine Korrelation; \* p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001; XF: Rohfaser; NDF: Neutrag-Detergentien-Faser; ADF: Säure-Detergentien-Faser; ADL: Säure-Detergentien-Lignin; Lignifizierungsgrad (ADL:NDF bzw. ADL:ADF); lösli. Lign: säurelösliches Lignin; pCA: p-Cumarsäure; FA: Ferulasäure. VQ<sub>OS</sub>: Verdaulichkeitsquotient der organischen Substanz.

Die multiple lineare Regression zwischen der Verdaulichkeit der OS und der Zellwandbestandteile ist für den 1. und 2. Schnitt in Tabelle 18 dargestellt.

Die multiple Regression ergibt in jedem Falle eine engere Korrelation als die einfache Regression. Der 1. Schnitt hat für alle geprüften Parameter einen wesentlich höheren Korrelationskoeffizienten als der 2. Schnitt.

Die beste Korrelation zur Verdaulichkeit hat die Kombination von ADL und XF sowie FA und Xylose beim 1. Schnitt.

Tabelle 18: Multiple lineare Regression: der Zusammenhang zwischen der in vivo Verdaulichkeit der OS und der Zellwandbestandteile

Gleichung, <b>1. Schnitt</b>	adj. <b>R<sup>2</sup></b>	Signifik.	n	Gleichung, <b>2. Schnitt</b>	adj. <b>R<sup>2</sup></b>	Signifik.	n
Y = VQ <sub>OS</sub> =				Y = VQ <sub>OS</sub> =			
<b>Die Kombination von ADL und herkömmlicher Faserkomponente:</b>							
115,81 – 0,35 ADL – 0,12 XF	<b>0,90</b>	***	24	104,50 – 0,18 ADL – 0,12 XF	<b>0,43</b>	n. s.	18
116,78 – 0,29 ADL – 0,12 ADF	<b>0,88</b>	***	24	105,91 – 0,06 ADL – 0,12 ADF	<b>0,47</b>	n. s.	18
<b>Die Kombination von ADL und Hemicellulosemonomeren sowie phenolischen Säuren:</b>							
103,10 – 0,48 ADL – 0,12 Xylose	<b>0,89</b>	***	23	92,42 – 0,29 ADL – 0,11 Xylose	<b>0,49</b>	n. s.	17
103,15 – 0,43 ADL – 4,27 Xyl:Ara	<b>0,87</b>	***	23	76,64 – 0,19 ADL – 0,12 Xyl:Ara	<b>0,35</b>	n. s.	17
91,24 – 0,48 ADL – 6,27 pCA:FA	<b>0,78</b>	***	17	82,54 – 0,17 ADL – 10,75 pCA:FA	<b>0,49</b>	n. s.	13
<b>Die Kombination vom Lignifizierungsgrad und Xylose:</b>							
115,32 – 0,19 Xylose – 186,53 ADL:ADF	<b>0,86</b>	***	23	99,73 – 0,14 Xylose – 115,64 ADL:ADF	<b>0,46</b>	**	17
117,23 – 0,22 Xylose – 228,53 ADL:NDF	<b>0,89</b>	***	23	102,73 – 0,19 Xylose – 167,91 ADL:NDF	<b>0,52</b>	**	17
<b>Die Kombination von phenolischen Säuren, Xylose und dem säurelöslichen Lignin:</b>							
55,04 + 11,05 FA – 7,18 pCA	<b>0,45</b>	**	17	61,56 + 7,46 FA – 6,44 pCA	<b>0,14</b>	n. s.	13
84,88 + 9,51 FA – 0,32 Xylose	<b>0,90</b>	***	17	64,88 + 5,03 FA – 0,07 Xylose	<b>0,13</b>	n. s.	13
36,56 + 5,14 FA + 0,31 lösl.Lign	<b>0,77</b>	***	17	60,65 + 2,64 FA + 0,03 lösl.Lign	<b>0,13</b>	n. s.	13

n. s.: nicht signifikant; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001; XF: Rohfaser; NDF: Neutrag-Detergentien-Faser; ADF: Säure-Detergentien-Faser; ADL: Säure-Detergentien-Lignin; Lignifizierungsgrad (ADL:NDF bzw. ADL:ADF); lösl. Lign: säurelösliches Lignin; pCA: p-Cumarsäure; FA: Ferulasäure; VQ<sub>OS</sub>: Verdaulichkeitsquotient der organischen Substanz.

Die Daten wurden auch nach der Nutzungsvariante (Variante A, B und C) auf einfache und multiple Regression für die Beziehung zur Verdaulichkeit geprüft (Tabelle 19 und 20).

Die Ergebnisse sind sehr stark von der Nutzungsvariante abhängig.

Wie die Tabelle 19 zeigt, besteht keine Korrelation zwischen allen geprüften Parametern und der Verdaulichkeit der OS für die intensive Nutzung A.

Für die ungedüngte Nutzungsvariante B gab es unterschiedliche Ergebnisse. Von den herkömmlichen Faserkomponenten hat nur ADF bzw. ADL eine Korrelation zur Verdaulichkeit mit adj.R<sup>2</sup> von 0,50 bzw. 0,60. Für den Lignifizierungsgrad konnte auch hier

keine enge Korrelation nachgewiesen werden. Jedoch erreicht das Verhältnis von ADL:Gesamt lignin bei dieser Nutzung die engste Korrelation zur Verdaulichkeit.

Für die extensive Nutzung C besteht doch die Beziehung zwischen dem Rohfasergehalt bzw. dem Xylose:Arabinose Verhältnis und der Verdaulichkeit (Vgl. mit B keine Korrelation), aber nicht so stark wie erwartet. Insgesamt ist die Korrelation bei der Nutzung C schlechter als bei B.

Tabelle 19: Einfache lineare Regression: der Zusammenhang zwischen der in vivo Verdaulichkeit der OS und den Zellwandbestandteilen

Nutzung A					Nutzung B					Nutzung C				
Gleichung	adj. R <sup>2</sup>	Signi f.	n		Gleichung	adj. R <sup>2</sup>	Signi f.	n		Gleichung	adj. R <sup>2</sup>	Signi f.	n	
Y = VQOS =					Y = VQOS =					Y = VQOS =				
Herkömmliche Faserkomponente:														
75,85 – 0,01	<b>0,07</b>	n. s.	16		102,31 – 0,12	<b>0,04</b>	n. s.	13		94,91 – 0,11	<b>0,43</b>	**	13	
XF					XF					XF				
60,01 + 0,03	<b>0,01</b>	n. s.	16		77,80 – 0,01	<b>0,08</b>	n. s.	13		97,53 – 0,06	<b>0,47</b>	**	13	
NDF					NDF					NDF				
82,96 – 0,03	<b>0,05</b>	n. s.	16		130,96 – 0,20	<b>0,50</b>	**	13		105,27 – 0,13	<b>0,59</b>	**	13	
ADF					ADF					ADF				
82,79 – 0,34	<b>0,05</b>	n. s.	16		81,71 – 0,26	<b>0,60</b>	**	13		82,30 – 0,41	<b>0,37</b>	*	13	
ADL					ADL					ADL				
Das Verhältnis von Xylose:Arabinose:														
82,42 – 2,42	<b>0,09</b>	n. s.	15		76,31 – 1,11	<b>0,09</b>	n. s.	13		74,16 – 2,99	<b>0,40</b>	*	12	
Xyl:Ara					Xyl:Ara					Xyl:Ara				
Lignifizierungsgrad und das säurelösliche Lignin:														
82,30 – 163,39	<b>0,08</b>	n. s.	16		80,15 – 105,03	<b>0,44</b>	**	13		67,22 – 57,03	<b>0,05</b>	n. s.	13	
ADL:NDF					ADL:NDF					ADL:NDF				
79,25 – 55,71	<b>0,01</b>	n. s.	16		82,90 – 86,36	<b>0,53</b>	**	13		73,23 – 74,59	<b>0,01</b>	n. s.	13	
ADL:ADF					ADL:ADF					ADL:ADF				
70,12 + 0,04	<b>0,03</b>	n. s.	15		57,59 + 0,18	<b>0,57</b>	**	13		54,79 + 0,10	<b>0,28</b>	*	12	
lösli. Lignin					lösli. Lignin					lösli. Lignin				
81,43 – 30,68	<b>0,11</b>	n. s.	15		84,64 – 39,11	<b>0,80</b>	***	13		70,91 – 21,38	<b>0,30</b>	*	12	
ADL:ges. Lign					ADL:ges. Lign					ADL:ges. Lign				

n. s.: nicht signifikant; \*  $\alpha < 0,05$ ; \*\*  $\alpha < 0,01$ ; \*\*\*  $\alpha < 0,001$ ; XF: Rohfaser; NDF: Neutrager-Detergentien-Faser; ADF: Säure-Detergentien-Faser; ADL: Säure-Detergentien-Lignin; Lignifizierungsgrad (ADL:NDF bzw. ADL:ADF); lösli. Lignin: säurelösliches Lignin; ges. Lign: Gesamt lignin; Xyl: Xylose; Ara: Arabinose; pCA: p-Cumarsäure; FA: Ferulasäure; VQ<sub>OS</sub>: Verdaulichkeitsquotient der organischen Substanz.



In Tabelle 20 sind die multiplen linearen Regressionen zwischen der Verdaulichkeit, der organischen Substanz und den Zellwandbestandteilen nach der Nutzungsvariante dargestellt.

Für die Nutzung A erbrachte die Kombination von zwei Parametern keine Steigerung der Beziehung zur Verdaulichkeit.

Insgesamt ergibt die Kombination von zwei Zellwandbestandteilen für die Nutzungsvariante B eine engere Korrelation zur Verdaulichkeit im Vergleich mit dem einfachen Parameter (einfache lineare Regression), aber diese Korrelation ist nicht so stark wie bei der Probengesamtheit und beim 1. Schnitt.

Für die extensive Nutzung C ergibt die multiple lineare Regression keine besseren Ergebnisse im Vergleich mit der einfachen linearen Regression.

Es kann abgeleitet werden, daß das ADL:Gesamtlinin- Verhältnis als geeignetste Parameter für die Korrelation zur Verdaulichkeit bei Nutzungsvariante B (einfache lineare Regression) ist. Für die Beziehung zur Verdaulichkeit ist ADF der beste Parameter für Nutzungsvariante C. Der geeignetste Parameter sowohl für die intensive als auch für die extensive Nutzung kann nicht abgeleitet werden.

Die geprüften multiplen Korrelationen sind bei B enger als bei anderen Nutzungsvarianten.

Tabelle 20: Multiple lineare Regression: der Zusammenhang zwischen der in vivo Verdaulichkeit der OS und den Zellwandbestandteilen

Nutzung A				Nutzung B				Nutzung C			
Gleichung	adj. R <sup>2</sup>	Signif	n	Gleichung	adj. R <sup>2</sup>	Signif	n	Gleichung	adj. R <sup>2</sup>	Signif	n
Y = VQOS =				Y = VQOS =				Y = VQOS =			
<b>Die Kombination von ADL und herkömmlichen Faserkomponenten:</b>											
98,70 – 0,44 ADL – 0,05 XF	<b>0,02</b>	n. s.	16	110,69 – 0,26 ADL – 0,12 XF	<b>0,69</b>	n. s.	13	100,15 – 0,28 ADL – 0,08 XF	<b>0,57</b>	n. s.	13
102,23 – 0,42 ADL – 0,06 ADF	<b>0,05</b>	n. s.	16	105,68 – 0,18 ADL – 0,09 ADF	<b>0,62</b>	n. s.	13	105,94 – 0,21 ADL – 0,10 ADF	<b>0,64</b>	n. s.	13
<b>Die Kombination von ADL und Hemicellulosemonomeren sowie phenolischen Säuren:</b>											
109,25 – 0,59 ADL – 0,16 Xylose	<b>0,22</b>	n. s.	15	92,21 – 0,33 ADL – 0,08 Xylose	<b>0,62</b>	n. s.	13	86,58 – 0,29 ADL – 0,08 Xylose	<b>0,45</b>	*	12
96,51 – 0,42 ADL – 3,19 Xyl:Ara	<b>0,24</b>	n. s.	15	71,44 – 0,28 ADL + 2,85 Xyl:Ara	<b>0,59</b>	n. s.	13	78,75 – 0,13 ADL – 2,54 Xyl:Ara	<b>0,40</b>	n. s.	12
93,64 – 0,40 ADL – 14,69 pCA:FA	<b>0,08</b>	n. s.	12	81,65 – 0,24 ADL – 2,06 pCA:FA	<b>0,54</b>	n. s.	10	77,10 – 0,24 ADL – 4,47 pCA:FA	<b>0,04</b>	n. s.	8
<b>Die Kombination vom Lignifizierungsgrad und Xylose sowie von pCA:</b>											
125,17 – 394,06 ADL:NDF – 0,25 Xylose	<b>0,38</b>	*	15	100,91 – 173,13 ADL:NDF – 0,14 Xylose	<b>0,54</b>	n. s.	13	95,20 – 168,75 ADL:NDF – 0,14 Xylose	<b>0,46</b>	*	12
129,09 – 197,56 ADL:ADF – 0,25 Xylose	<b>0,31</b>	*	15	99,38 – 122,76 ADL:ADF – 0,11 Xylose	<b>0,60</b>	n. s.	13	94,55 – 115,48 ADL:ADF – 0,12 Xylose	<b>0,38</b>	*	12
96,83 – 290,44 ADL:NDF – 4,26 pCA	<b>0,10</b>	n. s.	12	88,78 – 139,82 ADL:NDF – 4,03 pCA	<b>0,39</b>	n. s.	10	64,23 – 6,29 ADL:NDF – 1,66 pCA	<b>0,18</b>	n. s.	8
92,62 – 124,04 ADL:ADF – 3,76 pCA	<b>0,01</b>	n. s.	12	93,50 – 116,42 ADL:ADF – 4,59 pCA	<b>0,54</b>	n. s.	10	65,82 – 13,17 ADL:ADF – 1,73 pCA	<b>0,18</b>	n. s.	8
<b>Die Kombination von phenolischen Säuren, Xylose und vom säurelöslichen Lignin:</b>											
86,33 + 6,70 FA – 0,27 Xylose	<b>0,17</b>	n. s.	12	76,35 + 16,38 FA – 0,42 Xylose	<b>0,55</b>	*	10	71,18 + 5,46 FA – 0,16 Xylose	<b>0,32</b>	n. s.	8
70,29 + 0,51 FA + 0,02 lösli.Lign	<b>0,22</b>	n. s.	12	46,54 + 3,47 FA – 0,24 lösli.Lign	<b>0,76</b>	**	10	58,60 – 1,52 FA + 0,09 lösli.Lign	<b>0,14</b>	n. s.	8

n. s.: nicht signifikant; \*  $\alpha < 0,05$ ; \*\*  $\alpha < 0,01$ ; XF: Rohfaser; NDF: Neutrag-Detergentien-Faser; ADF: Säure-Detergentien-Faser; ADL: Säure-Detergentien-Lignin; Lignifizierungsgrad (ADL:NDF bzw. ADL:ADF); lösli. Lign: säurelösliches Lignin; Xyl: Xylose; Ara: Arabinose; pCA: p-Cumarsäure; FA: Ferulasäure; VQOS: Verdaulichkeitsquotient der organischen Substanz.

Die Nutzungsvariante A wies im Verlauf der 3 Versuchsjahre trotz vergleichbaren Erntetermins (vgl. Anhangstabelle 15) teilweise große Unterschiede im Reifegrad der Pflanzen auf (vgl. Tab. 11). So betrug die Variationsbreite für die Verdaulichkeit der organischen Substanz 66,8 – 80,8% und die ADF – Gehalte lagen zwischen 243 und 310 g/kg TS (vgl. Anhangstabelle 20). Im Vergleich zu unseren Messdaten weist die DLG-Futterwerttabelle für Wiese bei intensiver Nutzung im 1. bzw. 2. Schnitt Verdaulichkeitswerte von 68 – 79% bzw. 64 – 76% auf und die Rohfasergehalte werden mit 190 - 315 g/kg TS bzw. 200 - 310 g/kg TS angegeben (DLG-Futterwerttabellen, 1997).

Ein Beispiel der geringen Korrelation zwischen der in vivo Verdaulichkeit der organischen Substanz und dem Fasergehalt (ADF) zeigt die Abbildung 15. Eine enge Korrelation besteht zwischen der in vivo Verdaulichkeit der organischen Substanz und der ADF-Verdaulichkeit für die intensive Nutzung A (s. Abb. 12).

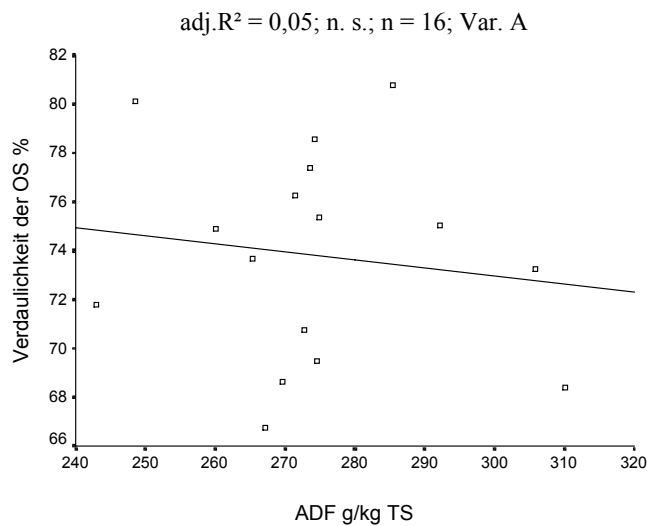


Abbildung 15: Regression der Verdaulichkeit der OS zu ADF, Var. A

Die Trennung nach erstem und zweitem Schnitt (Abbildung 16) zeigt, daß die Ursache für die fehlende Korrelation die Proben des 2. Aufwuchses sind.

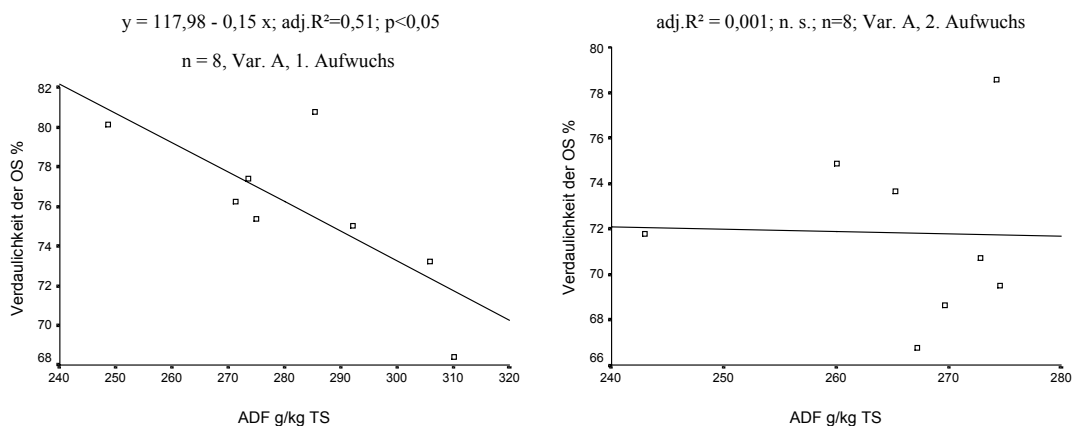


Abbildung 16: Regression der Verdaulichkeit der OS zu ADF, Var. A (1. und 2. Aufwuchs)

Das Entwicklungsstadium der Pflanzen ist bei umweltorientierter Nutzung B identisch wie bei der Nutzung A, die Pflanzen befinden sich meist vor der Blüte. Die Verdaulichkeit der OS ist bei der Nutzung B vergleichbar mit der bei der Nutzung A, die Variationsbreite schwankt zwischen 60,4 und 81,4 % TS (s. Anhangstabelle 20).

Die Beziehung zwischen den Zellwandbestandteilen und der Verdaulichkeit der OS ist bei der Nutzung B sehr variabel. Der geeignetste Parameter (einfache Regression) ist das ADL:Gesamtlinin- Verhältnis. Generell ist der Zusammenhang zwischen der Verdaulichkeit und der Kombination zweier Parameter (multiple Regression) bei dieser Variante enger. Die geeignetste Kombination ist das lösliche Lignin und FA.

Bei der extensiven Nutzung C handelt es sich um die Bestände mit unterschiedlicher Pflanzenreife innerhalb einer Bestandsprobe (von sehr jungen Pflanzen bis Gelbreife). Die in vivo Verdaulichkeit der OS schwankt bei dieser Nutzung zwischen 53,8 und 75,1 in % TS (s. Anhangstabelle 20). Auch bezogen auf in vivo Verdaulichkeit der OS ist die Korrelation zu Zellwandbestandteilen bei der Nutzung C sehr unterschiedlich. Der geeignetste Parameter ist ADF bei dieser Nutzung. Bei der multiplen Regression ist die Beziehung zweier Parameter zur Verdaulichkeit nicht enger zu erkennen.

#### **4.4 Der Abbau im Pansen und in vitro-Untersuchungen**

Die als Alternativen zum Verdauungsversuch angewendeten in vitro Methoden beruhen im Wesentlichen auf der Messung des Abbaus der Nährstoffe im Pansen. Zur Prüfung, ob das vorliegende Pflanzenmaterial eine enge Korrelation zwischen der Verdaulichkeit der organischen Substanz im Gesamtrakt und im Pansen aufweist, wurde der Abbau der TS und Faserbestandteile im Pansen mittels Nylonbeutel-Technik bestimmt.

Weiterhin wurde die HFT-Gasbildung gemessen, der Verlauf der Gasbildung erfasst und der unlösliche Rest aus der HFT-Messung qualitativ gemessen. Um die Abbaudynamik für die Proben erfassen zu können, wird die Gasbildung als Zeitverlauf bestimmt. Da die Gasbildung direkt mit dem Abbau der Rohnnährstoffe in Verbindung steht, spiegelt der Kurvenverlauf der gebildeten Gasmenge die Geschwindigkeit des Abbaus und die Abbaudynamik wider. Die Gasbildung aus HFT (Gb) steht in einer engen Beziehung zur Verdaulichkeit der Rohnnährstoffe und damit auch zum energetischen Futterwert von Grünlandbeständen. Die Gasbildung (Gb) wird in der HFT-Gleichung für die Energieschätzung verwendet.

Auch die Daten der Cellulasemethode (KAISER, 1998) wurden in diese Berechnung einbezogen.

#### 4.4.1 Der TS-Verlust und der Abbau der Zellwandbestandteile im Pansen

Der 24 h TS-Verlust und der 24 h Abbau der Zellwandbestandteile im Pansen ist in den Tabellen 21 und 22 zusammengefasst.

Die Tabelle 21 fasst den TS-Verlust und den Abbau von herkömmlichen Faserkomponenten sowie dem säurelöslichen Lignin und Gesamtlignin im Pansen zusammen.

Wie bei der in vivo Verdaulichkeit hat die Nutzung eine extreme Wirkung auf den TS-Verlust im Pansen. Der TS-Verlust ist beim 1. Schnitt der Nutzung C am niedrigsten, er liegt ca. 28% geringer als beim 1. Schnitt der Nutzung A bzw. B.

Die Wirkung der Nutzung auf den TS-Verlust ist beim 2. Schnitt nicht so stark wie beim 1. Schnitt. Die Bestandszusammensetzung zeigt aber einen stärkeren Einfluß auf den TS-Verlust als beim 1. Schnitt. Der TS-Verlust ist bei Fläche 7 ca. 13 % geringer als bei Fläche 5.

Der ADF-Abbau im Pansen wird beim 1. Schnitt von allen geprüften Faktoren beeinflusst, am stärksten ist die Wirkung der Nutzungsintensität. Der Abbau von ADF ist bei der Nutzung C1 ca. 56 % niedriger als bei A1 bzw. B1.

Beim 2. Schnitt hat nur die Nutzung signifikante Wirkung auf den ADF-Abbau.

Auch die Wirkung der Nutzungsintensität auf den Abbau vom gesamten Lignin ist sehr stark. Sie liegt beim 1. Schnitt der Nutzung C ca. 52 % signifikant niedriger als bei anderen Nutzungen.

Tabelle 21: TS-Verlust und Abbau der Zellwandbestandteile im Pansen nach 24 h Inkubation

Einflussfaktoren			Abbau im Pansen in %							
Schnitt	n	TS-Verl.	n	NDF	ADF	ADL	n	Lignin <sup>1</sup>	ges. Lignin	
1.	Signifikanz:	*		n. s.	**	*		**	**	
	Jahr: 96	7	60,8 <sup>ab</sup>	7	44,7	43,2 <sup>b</sup>	11,9 <sup>b</sup>	6	78,0 <sup>b</sup>	61,9 <sup>c</sup>
	97	9	62,0 <sup>b</sup>	8	43,3	43,8 <sup>b</sup>	6,6 <sup>b</sup>	9	64,9 <sup>b</sup>	47,1 <sup>b</sup>
	98	8	59,3 <sup>a</sup>	8	45,3	35,0 <sup>a</sup>	-2,9 <sup>a</sup>	8	55,6 <sup>a</sup>	37,2 <sup>a</sup>
	Signifikanz:	**		n. s.	**	n. s.		n. s.	n. s.	
	Fläche: 5	8	61,5 <sup>b</sup>	8	44,4	40,4 <sup>b</sup>	0,6	8	64,0	46,7
	6	9	62,3 <sup>b</sup>	8	47,3	45,3 <sup>b</sup>	5,8	8	68,1	49,8
	7	7	58,3 <sup>a</sup>	7	41,6	36,3 <sup>a</sup>	9,3	7	66,3	49,7
	Signifikanz:	***		n. s.	***	n. s.		***	***	
	Nutzung: A	8	67,4 <sup>b</sup>	7	-	50,7 <sup>b</sup>	0,5	7	75,8 <sup>b</sup>	57,7 <sup>b</sup>
	B	7	66,6 <sup>b</sup>	7	-	49,0 <sup>b</sup>	7,3	7	75,4 <sup>b</sup>	60,2 <sup>b</sup>
	C	9	48,1 <sup>a</sup>	9	-	22,2 <sup>a</sup>	7,8	9	47,2 <sup>a</sup>	28,3 <sup>a</sup>
2.	Signifikanz:	*		n. s.	n. s.	n. s.		**	**	
	Jahr: 96	5	59,7 <sup>a</sup>	5	49,6	40,4	16,7	3	76,5 <sup>c</sup>	66,3 <sup>b</sup>
	97	8	61,9 <sup>b</sup>	8	47,7	35,6	1,9	8	68,4 <sup>b</sup>	41,9 <sup>a</sup>
	98	7	60,4 <sup>a</sup>	7	40,7	40,7	1,8	7	60,8 <sup>a</sup>	40,0 <sup>a</sup>
	Signifikanz:	**		n. s.	n. s.	n. s.		**	n. s.	
	Fläche: 5	7	64,1 <sup>c</sup>	7	44,3	40,2	-1,7	7	71,1 <sup>b</sup>	47,2
	6	8	62,1 <sup>b</sup>	8	47,0	37,7	13,8	6	73,1 <sup>b</sup>	57,9
	7	5	55,9 <sup>a</sup>	5	46,6	37,8	8,3	5	61,6 <sup>a</sup>	43,0
	Signifikanz:	*		n. s.	**	n. s.		**	**	
	Nutzung: A	8	63,8 <sup>b</sup>	8	44,8	45,7 <sup>b</sup>	8,6	7	72,5 <sup>b</sup>	57,5 <sup>b</sup>
	B	6	56,9 <sup>a</sup>	6	49,9	32,4 <sup>a</sup>	3,6	6	62,6 <sup>a</sup>	38,9 <sup>a</sup>
	C	6	61,3 <sup>a</sup>	6	43,2	38,7 <sup>a</sup>	8,2	5	70,6 <sup>ab</sup>	51,7 <sup>b</sup>

Signifikanz im F-Test ( $\alpha < 0,05$ ; bei Signifikanz folgt LSD-Test); unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte sind signifikant: \* $\alpha < 0,05$ ; \*\* $\alpha < 0,01$ ; \*\*\* $\alpha < 0,001$ ; TS-Verl.: TS-Verlust im Pansen; NDF: Neutral-Detergentien-Faser; ADF: Säure-Detergentien-Faser; ADL: Säure-Detergentien-Lignin; 1 = säurelösliches Lignin; ges. Lignin: Gesamtlignin.

In Tabelle 22 ist der Abbau von den Hemicellulosemonomeren Xylose und Arabinose sowie von phenolischen Säuren und FA dargestellt.

Geringer als der ADF-Abbau im Pansen ist der Xylose-Abbau.

Alle geprüften Haupteffekte haben einen Einfluß auf den Xylose-Abbau im Pansen. Die Nutzung scheint einen stärkeren Einfluss auf den Hemicellulosemonomere-Abbau im Pansen als die anderen Einflussfaktoren, besonders beim 1. Schnitt zu haben. Der Abbau von beiden Hemicellulosebestandteilen ist bei extensiver Nutzung C1 am geringsten. Der Abbau von Xylose liegt bei der Nutzungsvariante C1 signifikant 50 % niedriger als bei A1.

Beim zweiten Schnitt scheint die Wirkung der Nutzungsintensität auf die Abbaubarkeit schwächer.

Beim ersten Aufwuchs zeigen alle geprüften Haupteffekte keine Wirkung auf den pCA-Abbau im Pansen. Beim zweiten Aufwuchs hat nur die unterschiedliche Artenzusammensetzung einen Einfluß auf den pCA-Abbau. Auf die beiden Schnitte hat die Nutzungsintensität nur eine deutliche Wirkung auf den FA-Abbau, er liegt bei der Nutzung C1 am niedrigsten. Nach diesen Ergebnissen ist festzustellen, daß der Abbau von Zellwandbestandteilen besonders von der Nutzungsintensität beeinflusst ist. Außer ADL ist der Xylose-Abbau im Pansen am niedrigsten.

Tabelle 22: Der Abbau der Zellwandkohlenhydratmonomere im Pansen

Einflussfaktoren			Abbau im Pansen in %				
Schnitt		n	Xylose	Arabinose	n	pCA	FA
1.	Signifikanz:		*	n. s.		n. s.	n. s.
	<b>Jahr:</b>						
		96	6	38,4 <sup>b</sup>	70,4	-	-
		97	8	30,3 <sup>ab</sup>	66,8	9	42,8
		98	8	28,0 <sup>a</sup>	64,3	8	36,0
	Signifikanz:		**	**		n. s.	*
	<b>Fläche:</b>						
		5	8	33,6 <sup>b</sup>	66,1 <sup>b</sup>	5	34,7
		6	8	36,4 <sup>b</sup>	71,5 <sup>c</sup>	6	43,5
		7	6	26,7 <sup>a</sup>	64,0 <sup>a</sup>	6	39,9
	Signifikanz:		***	***		n. s.	***
	<b>Nutzung:</b>						
		A	6	40,0 <sup>b</sup>	72,5 <sup>b</sup>	6	47,4
		B	7	35,9 <sup>b</sup>	73,2 <sup>b</sup>	5	34,5
		C	9	20,7 <sup>a</sup>	55,9 <sup>a</sup>	6	36,3
2.	Signifikanz:		*	n. s.		n. s.	n. s.
	<b>Jahr:</b>						
		96	3	35,8 <sup>b</sup>	64,2	-	-
		97	8	28,8 <sup>a</sup>	65,2	8	36,6
		98	7	29,1 <sup>ab</sup>	63,7	7	32,8
	Signifikanz:		n. s.	*		*	n. s.
	<b>Fläche:</b>						
		5	7	32,0	65,9 <sup>ab</sup>	5	34,4 <sup>ab</sup>
		6	6	29,1	67,2 <sup>b</sup>	6	23,9 <sup>a</sup>
		7	5	32,7	60,0 <sup>a</sup>	4	45,8 <sup>b</sup>
	Signifikanz:		*	n. s.		n. s.	*
	<b>Nutzung:</b>						
		A	7	35,3 <sup>b</sup>	66,9	6	33,4
		B	6	28,0 <sup>a</sup>	61,8	5	41,3
		C	5	30,5 <sup>ab</sup>	64,4	4	29,4

Signifikanz im F-Test ( $\alpha < 0,05$ ; bei Signifikanz folgt LSD-Test); Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte pro Faktor sind signifikant: \*  $\alpha < 0,05$ ; \*\*  $\alpha < 0,01$ ; \*\*\*  $\alpha < 0,001$ . n. s.: nicht signifikant; pCA: p-Cumarsäure; FA: Ferulasäure.

Tabelle 23 zeigt den prozentualen Anteil des ADF-Abbaus im Pansen an der in vivo Verdaulichkeit von ADF.

Der Anteil des ADF-Abbaus im Pansen liegt zwischen 51...69 % der in vivo Verdaulichkeit. Das bedeutet, daß der unterschiedliche Anteil (der nicht im Pansen abgebaut wurde) im weiteren Verdauungstrakt teilweise abgebaut wird.

Für den relativen Abbau von ADF im Pansen spielen die Faktoren Jahr und Fläche keine besondere Rolle, aber die Nutzung und der Schnitt haben einen signifikanten Einfluss. Der

Anteil des Abbaus der ADF-Fraktion im Pansen variiert besonders stark nach der Nutzungsintensität. Der ADF-Abbau bei der Nutzung C beträgt im Pansen nur 50 % der in vivo Verdaulichkeit von ADF. Damit ist sie signifikant um 26 % geringer als bei der Nutzung A.

Tabelle 23: Der ADF-Abbau im Pansen in % zur ADF-Verdaulichkeit (in vivo)

		in %
Probengesamtheit:		61 ± 13,97
Signifikanzniveau:		n. s.
Jahr:	1996	59 ± 14,60
	1997	65 ± 12,41
	1998	58 ± 15,10
Signifikanzniveau:		n. s.
Fläche:	5	60 ± 17,30
	6	64 ± 10,51
	7	60 ± 11,85
Signifikanzniveau:		***
Nutzung:	A	69 <sup>b</sup> ± 6,84
	B	62 <sup>ab</sup> ± 10,44
	C	51 <sup>a</sup> ± 17,56
Signifikanzniveau:		*
Schnitt:	1	58 <sup>a</sup> ± 16,11
	2	65 <sup>b</sup> ± 9,96

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte pro Faktor sind signifikant: \*  $\alpha < 0,05$ ; \*\*  $\alpha < 0,01$ ; \*\*\*  $\alpha < 0,001$  (LSD- und T-Test). n. s.: nicht signifikant; ADF: Säure-Detergentien-Faser.

Der Abbau und in vivo Verdaulichkeit von ADF sind von der Nutzung stark abhängig, sie liegt bei der Nutzung C am geringsten. Bei der Nutzung A und B ist der Differenzwert zwischen dem Abbau und der Verdaulichkeit von ADF deutlich geringer. Die Abhängigkeit vom Schnitt ist nicht so stark wie bei der Nutzung. Die in vivo Verdaulichkeit von ADF liegt beim 2. Schnitt geringer als beim 1. Schnitt. Der ADF-Abbau im Pansen im prozentualen Anteil der in vivo Verdaulichkeit liegt dagegen beim 2. Schnitt höher.

Die Abbildung 17 zeigt die Beziehung zwischen der in vivo Verdaulichkeit von ADF bzw. TS und dessen Abbau im Pansen. Für die TS besteht eine engere Korrelation zwischen dem Abbau im Pansen und der in vivo Verdaulichkeit, diese ist für den ADF-Abbau nicht gegeben. Wie der ADF-Abbau im Pansen der Nutzung C1 (Fläche 5) im Jahre 1998 aufwies, liegt der Abbau 43% unter der in vivo Verdaulichkeit von ADF bei der gleichen Nutzung.



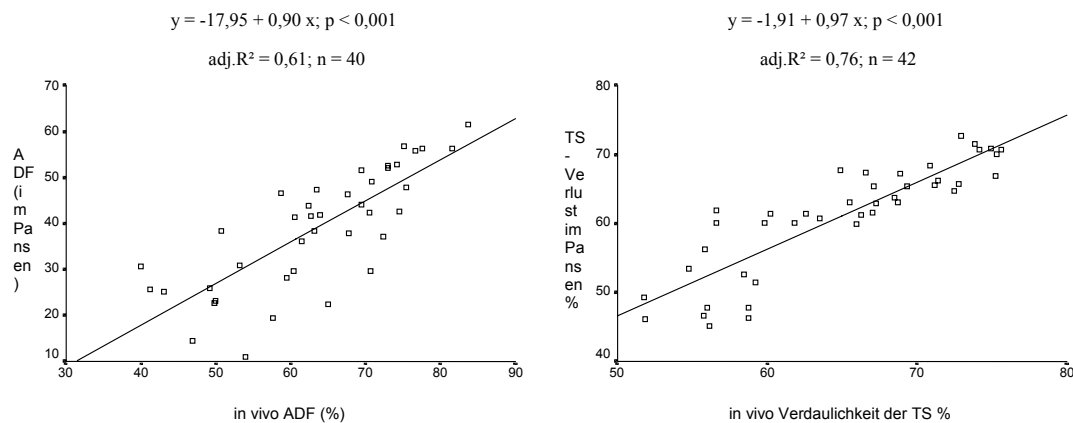


Abbildung 17: Regression des Abbaus im Pansen zur in vivo Verdaulichkeit (TS, ADF) für die Probengesamtheit

Die Abbildung 18 zeigt die Korrelation zwischen der in vivo Verdaulichkeit der OS und dem ADF- Abbau im Pansen für die Probengesamtheit sowie in Abhängigkeit von Schnitt und Nutzung. Eine enge Korrelation besteht für die Probengesamtheit und den 1. Schnitt. In Abhängigkeit von der Nutzungsintensität liegt für die Nutzung A der Korrelationskoeffizient unerwartet niedrig mit  $r^2 = 0,34$ . Das steht im Widerspruch zur Korrelation der Verdaulichkeit der OS und von ADF für den Gesamtrakt. In diesem Falle beträgt der Korrelationskoeffizient für die Nutzung A 0,89 (vgl. Abb. 5). Im Prinzip besteht dieser Unterschied auch für die beiden anderen Nutzungsvarianten und den 2. Schnitt.

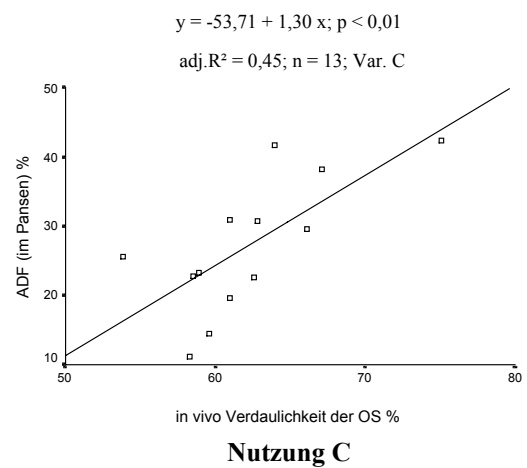
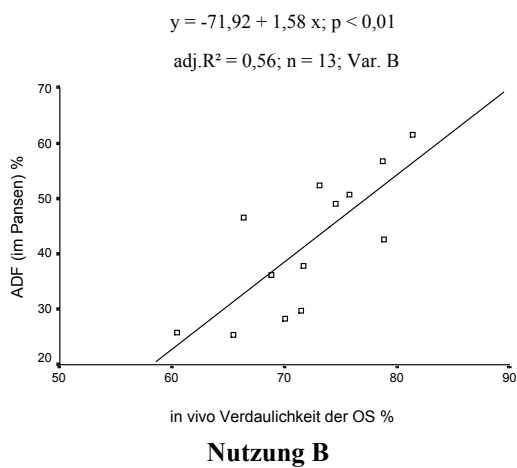
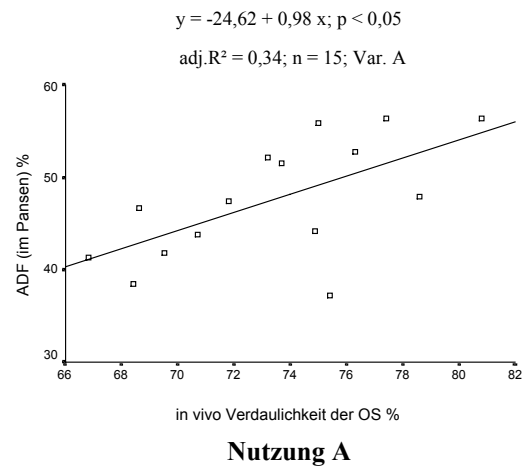
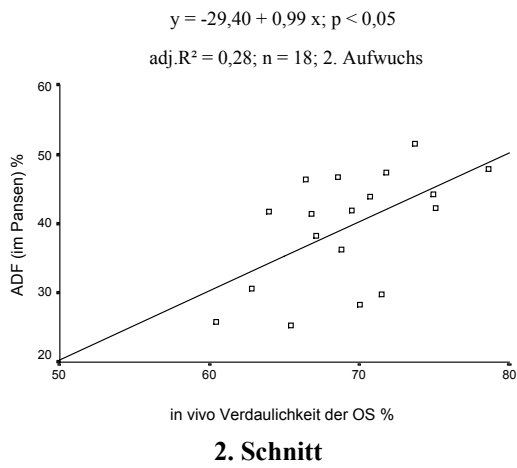
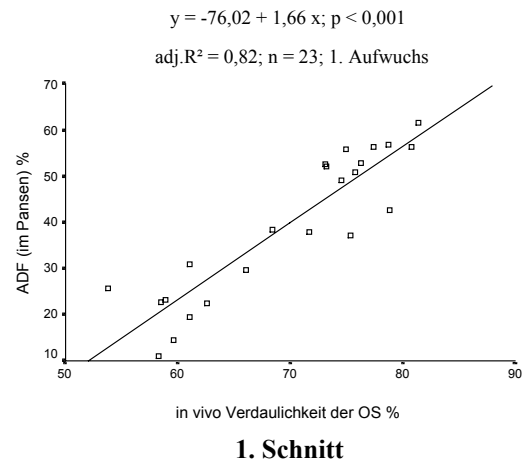
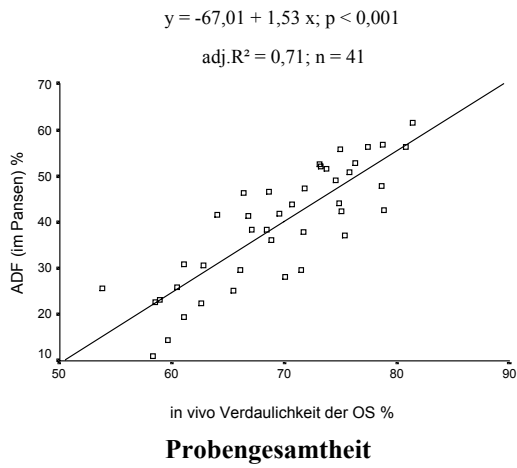


Abbildung 18: In vivo Verdaulichkeit der OS und der ADF-Abbau im Pansen

#### 4.4.2 Gasbildung und unlösliche Reste nach HFT-Inkubation, enzymlösbare und enzymunlösliche organische Substanz

Die Ergebnisse der in vitro Untersuchungen, Gasbildung, der unlösliche Rest aus der HFT-Inkubation, die Cellulaselöslichkeit sowie die enzymunlösliche organische Substanz (EuLOS) werden in Tabelle 24 zusammengefasst. Die Einzelwerte der Untersuchungen sind in Anhangstabelle 23 und 24 dargestellt.

Die netto Gasbildung schwankt beim ersten Aufwuchs zwischen 36...57 ml und beim zweiten Aufwuchs zwischen 40...52 ml.

Alle in vitro-Parameter zeigen im Wesentlichen die gleichen Zusammenhänge wie die geprüften Parameter der chemischen Zusammensetzung. Den größten Einfluss auf die Werte hat die Nutzung im ersten Schnitt. Das entspricht der Erwartung, da diese Methoden als Standardmethoden zur Schätzung des Futterwertes angewendet werden. Die netto Gasbildung ist bei der Nutzung C1 am niedrigsten.

Tabelle 24: In vitro-Parameter aus der HFT- und Cellulasemethode

Einflussfaktoren				in vitro-Parameter					
Schnitt		n	Gb	n	unl. Rest	n	ELOS	EuLOS	
			ml		%		%		
1.	Signifikanz:		n. s.		n. s.		***	*	
	<b>Jahr:</b>	96	7	48,6	-	-	7	69,0 <sup>b</sup>	29,0 <sup>a</sup>
		97	9	49,6	9	22,0	9	69,1 <sup>b</sup>	31,2 <sup>ab</sup>
		98	8	49,6	8	25,0	8	53,2 <sup>a</sup>	33,4 <sup>b</sup>
	Signifikanz:		**		n. s.		n. s.	**	
	<b>Fläche:</b>	5	8	47,9 <sup>a</sup>	5	22,8	8	63,2	30,2 <sup>a</sup>
		6	9	50,5 <sup>b</sup>	6	22,4	9	64,1	30,3 <sup>a</sup>
		7	7	49,4 <sup>ab</sup>	6	25,3	7	63,9	33,1 <sup>b</sup>
	Signifikanz:		***		***		***	***	
	<b>Nutzung:</b>	A	8	53,1 <sup>b</sup>	6	17,1 <sup>a</sup>	8	69,9 <sup>b</sup>	24,0 <sup>a</sup>
		B	7	54,2 <sup>b</sup>	5	16,4 <sup>a</sup>	7	72,6 <sup>b</sup>	24,0 <sup>a</sup>
		C	9	40,6 <sup>a</sup>	6	37,0 <sup>b</sup>	9	48,7 <sup>a</sup>	45,6 <sup>b</sup>
2.	Signifikanz:		n. s.		n. s.		***	n. s.	
	<b>Jahr:</b>	96	5	45,7	-	-	5	68,2 <sup>b</sup>	28,1
		97	8	45,7	8	21,9	8	66,9 <sup>b</sup>	29,3
		98	7	47,2	7	23,6	5	51,4 <sup>a</sup>	33,4
	Signifikanz:		n. s.		n. s.		*	*	
	<b>Fläche:</b>	5	7	45,8	5	20,0	7	63,5 <sup>ab</sup>	28,9 <sup>ab</sup>
		6	8	48,0	6	24,2	7	64,9 <sup>b</sup>	28,5 <sup>a</sup>
		7	5	44,8	4	24,1	4	58,1 <sup>a</sup>	33,4 <sup>b</sup>
	Signifikanz:		**		n. s.		n. s.	n. s.	
	<b>Nutzung:</b>	A	8	49,4 <sup>b</sup>	6	21,2	8	65,4	27,9
		B	6	45,1 <sup>a</sup>	5	24,1	6	61,4	30,8
		C	6	44,0 <sup>a</sup>	4	22,9	4	59,7	32,2

Signifikanz im F-Test ( $\alpha < 0,05$ ; bei Signifikanz folgt LSD-Test); unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte pro Faktor sind signifikant: \*  $\alpha < 0,05$ ; \*\*  $\alpha < 0,01$ ; \*\*\*  $\alpha < 0,001$ ; Gb: netto Gasbildung aus HFT; unl. Rest: der unlösliche Rest aus HFT; EuLOS =  $(G \times 1000) / TS$ ; G: Glühverlust aus der ELOS-Bestimmung.

Die Verläufe der Gasbildungskurve in Abhängigkeit vom Jahr, von der Pflanzenzusammensetzung bzw. Nutzungsintensität sind in Abbildung 19 zusammengestellt.

Der Verlauf der Kurven in Abhängigkeit vom Jahreseinfluss ist identisch. Von der Bestandszusammensetzung verläuft die Kurve der Fläche 6 am steilsten und erreicht auch nach 24 Stunden die höchsten Werte. Die Gasbildung ist bei Fläche 5 in den ersten 8 Stunden höher als bei Fläche 7. Die 24 Stunden Werte sind jedoch identisch.

Die Gasbildungskurve nach der Nutzungsintensität zeigt die deutlichsten Unterschiede. Die Nutzung A und B zeigen nahezu identischen Kurvenverlauf mit einer etwas höheren Gasbildung am Inkubationsende für die Nutzung A. Der Verlauf der Kurve ist bei extensiver Nutzung C vom Beginn an wesentlich flacher, so daß nach 24 stündiger Inkubation ein Unterschied von etwa 8 ml auftritt. Auch bei der Gruppierung A + B verläuft sie viel schneller als bei der Nutzung C.

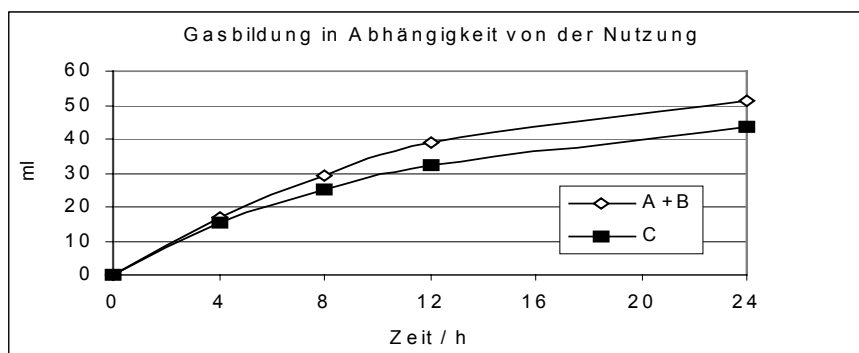
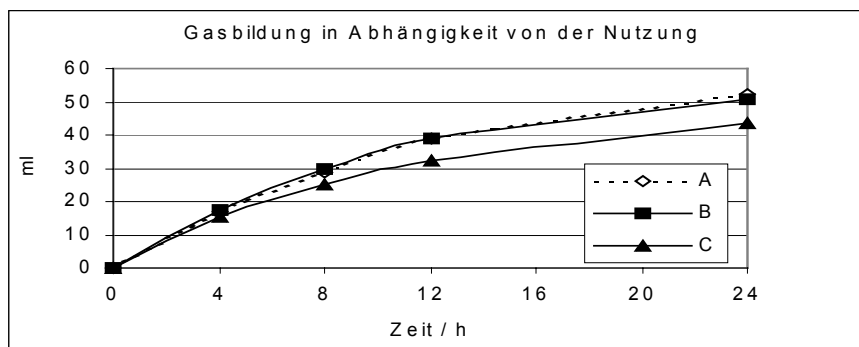
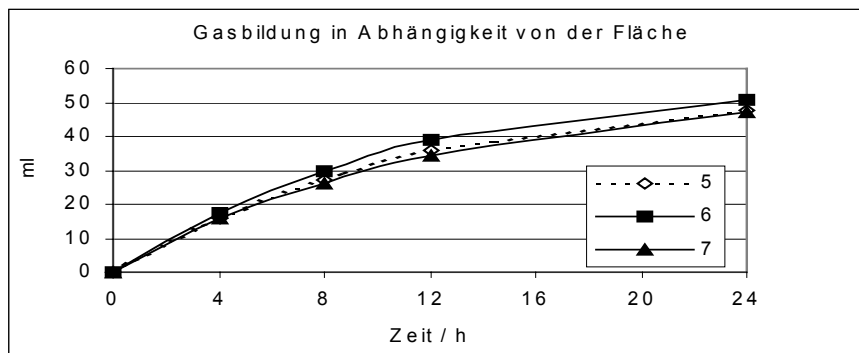
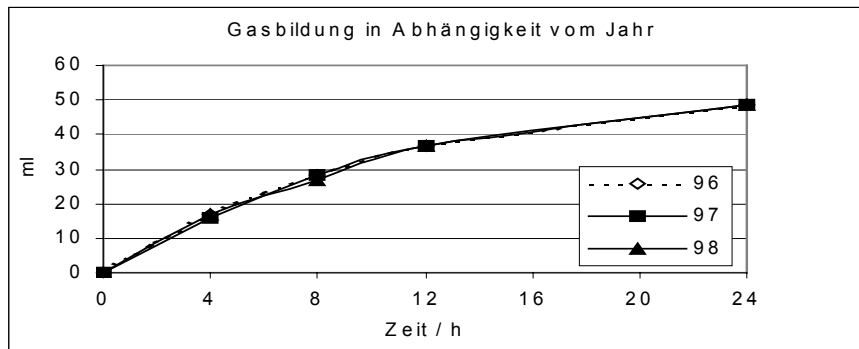


Abbildung 19: Gasbildung (HFT) in Abhängigkeit vom Jahr, Fläche und Nutzung

Der unlösliche Rest aus der HFT-Inkubation sagt einerseits etwas über den unverdaulichen Rest und auch andererseits über die Bakterienmenge aus. Die Einzelwerte sind in Anhangstabelle 23 und 24 zusammengefasst.

Der unlösliche Rest nach der HFT schwankt zwischen 11...40 % beim 1. Schnitt und beim 2. Schnitt zwischen 15...29 % (s. Anhangstabellen 26-27).

Die Nutzungsintensität (beim ersten Aufwuchs) hat eine extreme Wirkung auf den unlöslichen Rest aus der HFT, die anderen geprüften Faktoren haben keine Wirkung. Der unlösliche Rest liegt bei der Nutzung C1 54 % signifikant höher als bei A1 bzw. B1 (s. Tabelle 24).

Die Einzelwerte der enzymlösbaren (ELOS) bzw. enzymunlösbaren (EuLOS) organischen Substanz sind in den Anhangstabellen 23 und 24 zusammengefasst.

Die enzymlösbare organische Substanz weist beim ersten Schnitt eine Variationsbreite zwischen 367...974 g/kg TS (EuLOS: 180-488 g/kg TS) und beim zweiten Schnitt eine Variationsbreite zwischen 500...745 g/kg TS (EuLOS: 230-372) auf.

Ähnlich wie bei der HFT-Inkubation zeigt die Nutzung eine extreme Wirkung auf enzymlösbare bzw. enzymunlösbare organische Substanz beim ersten Aufwuchs. ELOS ist bei der Nutzung C1 am geringsten und entsprechend EuLOS am höchsten. ELOS bzw. EuLOS liegen bei C1 ca. 30 % signifikant niedriger bzw. 47 % signifikant höher als bei A1 und B1. Beim 2. Schnitt hat die Nutzungsintensität keinen Einfluss auf ELOS und EuLOS.

Die Wirkung der Nutzung (beim 1. Schnitt) auf den löslichen Rest aus der HFT bzw. aus der Cellulase-Methode ist stärker als auf der netto Gasbildung bzw. enzymlösbaren organischen Substanz.

#### 4.4.3 Beziehungen zwischen den in vitro-Parametern und den Verdaulichkeiten der organischen Substanz

Die Abbildungen 20 bis 22 und die Tabelle 25 fassen die Beziehung zwischen den geprüften Parametern und der Verdaulichkeit der OS zusammen.

Die Abbildung 20 veranschaulicht die Korrelation zwischen der Verdaulichkeit der OS und der Parameter aus der HFT und Cellulasemethode für die Probengesamtheit.

Ein interessantes Ergebnis ist, daß die erfassten unlöslichen Reste sowohl aus der Gasbildung als auch aus der Cellulasemethode eine wesentlich engere Korrelation zur in vivo Verdaulichkeit zeigen als die Gasbildung und ELOS-Werte. Ein Vergleich der beiden in vitro Methoden für die Probengesamtheit zeigt für die HFT-Werte eine engere Korrelation als für die ELOS-Daten.

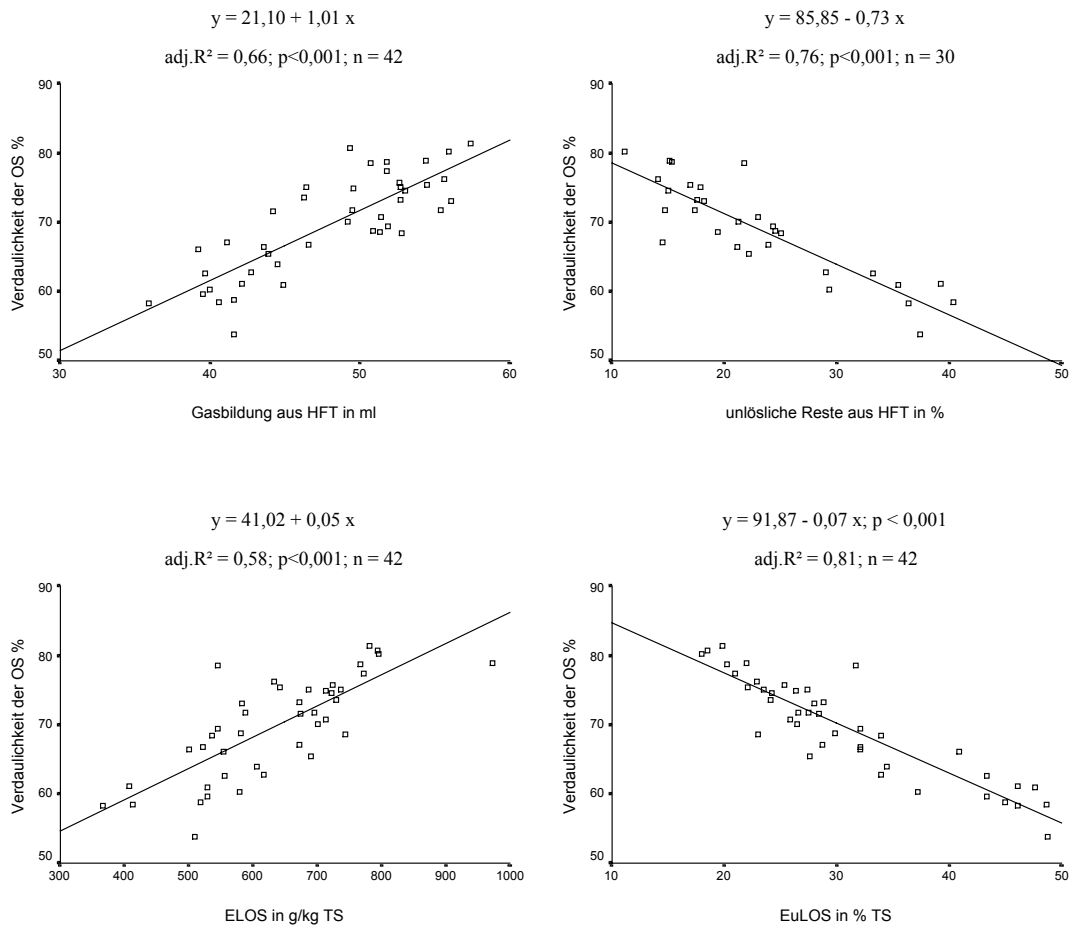


Abbildung 20: Regression der Verdaulichkeit der OS zu verschiedenen in vitro-Parametern (Probengesamtheit)

Die getrennte Auswertung des Datenmaterials nach dem Schnitt bzw. nach der Nutzungsvariante zeigt ähnliche Zusammenhänge zur Verdaulichkeit der organischen Substanz wie die ausgewählten geprüften Faserparameter. Jedoch liegen die Werte der Korrelation bei den in vitro Daten höher.

Die Abbildung 21 und 22 fasst die Korrelation zwischen der Verdaulichkeit der OS und der in vitro-Parameter für den 1. und 2. Schnitt zusammen.

Beim ersten Schnitt liegt die Korrelation zwischen den geprüften Parametern und der Verdaulichkeit der OS am engsten, besonders für die unlöslichen Reste aus den beiden in vitro-Methoden.

Eine wesentliche geringere Korrelation zur Verdaulichkeit der OS erreichen alle geprüften in vitro-Parameter für den 2. Schnitt.

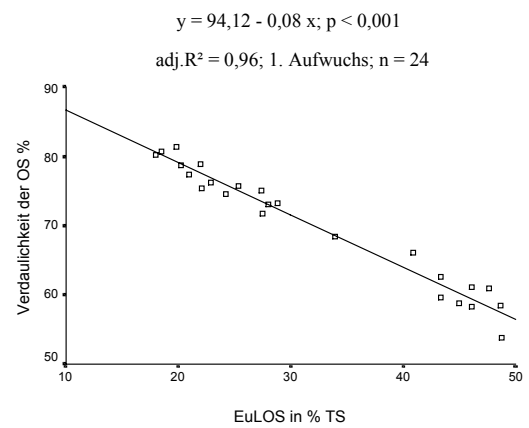
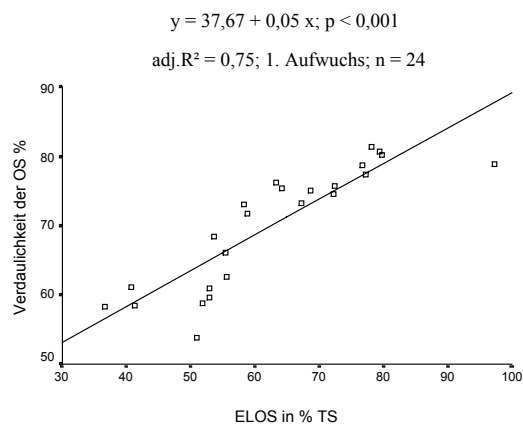
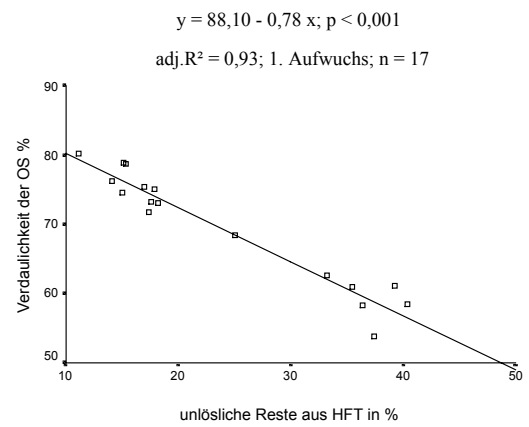
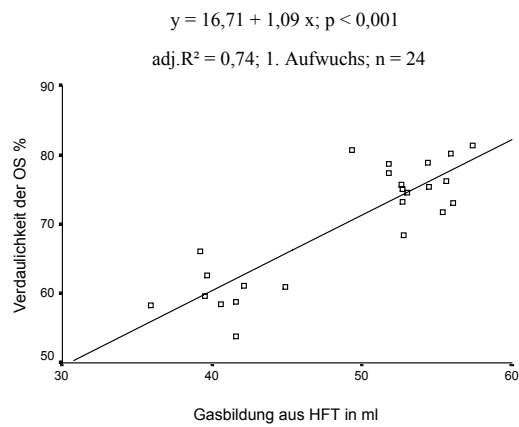


Abbildung 21: Regression der Verdaulichkeit der OS zu in vitro-Parametern, 1. Schnitt



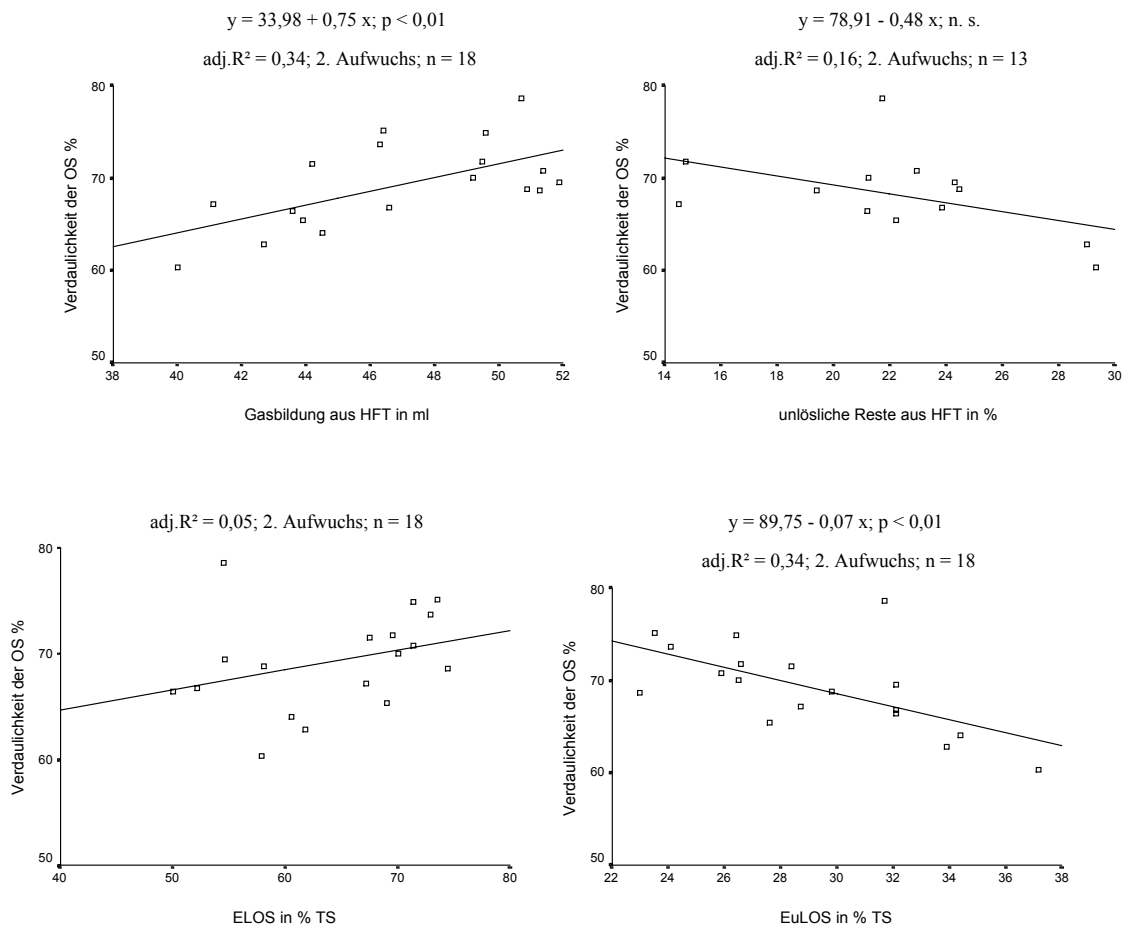


Abbildung 22: Regression der Verdaulichkeit der OS zu in vitro-Parametern, 2. Schnitt

Die Tabelle 25 zeigt die Korrelation zwischen der Verdaulichkeit der OS und den Parametern aus der HFT- und Cellulasemethode für die Nutzungsvariante A, B und C.

Für die intensive Nutzung A haben alle geprüften in vitro-Parameter nur schwache Korrelation zur Verdaulichkeit.

Die engste Korrelation hat die Nutzungsvariante B, wobei der unlösliche Rest aus den beiden Methoden die beste Korrelation zur Verdaulichkeit erreicht.

Für die extensive Nutzung C hat nur ELOS eine engere Korrelation zur Verdaulichkeit als B. Alle anderen Parameter erreichen eine schwächere Korrelation.

Tabelle 25: Der Zusammenhang zwischen der in vivo Verdaulichkeit der OS und der in vitro-Parametern

Var. A				Var. B				Var. C			
Gleichung	adj. R <sup>2</sup>	Signif	n	Gleichung	adj. R <sup>2</sup>	Signif	n	Gleichung	adj. R <sup>2</sup>	Signif	n
48,97 + 0,48 Gb	<b>0,03</b>	n. s.	16	27,66 + 0,89 Gb	<b>0,65</b>	**	13	24,86 + 0,90 Gb	<b>0,15</b>	n. s.	13
85,45 - 0,66 unl.Rest	<b>0,43</b>	*	12	93,95 -1,16 unl.Rest	<b>0,82</b>	***	10	72,82 - 0,37 unl.Rest	<b>0,54</b>	*	8
57,69 + 0,02 ELOS	<b>0,22</b>	*	16	48,54 + 0,03 ELOS	<b>0,45</b>	**	13	41,42 + 0,04 ELOS	<b>0,56</b>	**	13
88,38 - 0,06 EuLOS	<b>0,38</b>	**	16	103,30 - 0,12 EuLOS	<b>0,86</b>	***	13	85,34 - 0,06 EuLOS	<b>0,75</b>	***	13

\*  $\alpha < 0,05$ ; \*\*  $\alpha < 0,01$ ; \*\*\*  $\alpha < 0,001$ ; Gb: Gasbildung aus HFT; unl.Rest: der unlösliche Rest aus HFT; ELOS: Enzymlösbare organische Substanz; EuLOS: Enzymunlösbare organische Substanz.

#### 4.5 Bestimmung des energetischen Futterwertes nach verschiedenen Schätzmethoden und Vergleich der Verfahren

Die gemessene bzw. berechnete umsetzbare Energie (ME) nach der Formel auf Basis der Rohnährstoffe und in vitro Methoden (HFT und Cellulase) ist in Anhangstabelle 16 dargestellt.

Die auf das eigene Probenmaterial angewendeten Schätzgleichungen sind von der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 1998) empfohlen worden. Bei der Rohnährstoffgleichung (XF) wurde für die ersten Aufwüchse die Gleichung "Frischgras, 1. Schnitt", für die zweiten Aufwüchse die Gleichung "Frischgras, Folgeschnitte" verwendet.

Die Gleichung auf der Basis der ELOS ist inzwischen von der GfE zurückgezogen worden und entspricht nicht mehr der offiziellen Empfehlung. Zusätzlich wurden hier noch zwei Gleichungen auf Basis der EuLOS verwendet (WEISSBACH et al., 1996: EuLOS<sup>96</sup>; GfE, WEISSBACH et al., 1999: EuLOS<sup>99</sup>).

Als Maß für die Genauigkeit der in vitro Methoden für die analysierten Pflanzenbestände wurden das Bestimmtheitsmaß, der Standardfehler, der Differenzwert zum in vivo Wert, dessen Standardabweichung und das Signifikanzniveau ermittelt.

Es wurden die Daten nach der Probengesamtheit, der Nutzungsart und dem Schnitt sowie nach der Höhe der Verdaulichkeit der OS ( $VQ_{OS} < 60\%$  und  $> 60\%$ ) ausgewertet. Die Anzahl der Proben erlaubte es nicht, eine Trennung innerhalb der Nutzungsvarianten nach 1. und 2. Schnitt vorzunehmen. Die Ergebnisse der Analytik sind in den Tabellen 26 und 27 dargestellt.

Die Tabelle 26 fasst das Bestimmtheitsmaß und den Standardfehler zwischen gemessenem und berechnetem umsetzbaren Energiewert zusammen.

Für die Probengesamtheit ist das Bestimmtheitsmaß für die EuLOS Gleichungen am höchsten. Es ergibt das gleiche Bestimmtheitsmaß für die Rohrnährstoff- und HFT-Formel.

Bei der Trennung der Daten nach 1. und 2. Schnitt besteht eine enge Korrelation für alle angewendeten Schätzformeln, jedoch nur beim 1. Schnitt. Insgesamt erbrachte der 2. Schnitt unzufriedenstellende Ergebnisse für alle Schätzgleichungen.

Bei der Einteilung der Daten nach der Nutzungsvariante A, B und C ergeben sich schwache Korrelationen für alle angewendeten Gleichungen bei der Nutzung A. Für die Nutzung B und C erzielten die EuLOS-Gleichungen die besten Korrelationen zu in vivo-ME-Messwerten.

Bei der Trennung der Daten nach der Höhe der Verdaulichkeit korreliert die errechnete umsetzbare Energie bei  $VQ_{OS} > 60\%$  enger als bei  $VQ_{OS} < 60\%$ . Bei  $VQ_{OS} < 60\%$  ergibt für Formel auf Basis der Rohrnährstoffgehalte eine engere Korrelation als HFT-, ELOS- und EuLOS<sup>96</sup>-Formel. Die EuLOS<sup>99</sup>-Gleichung erreicht hier eine engere Korrelation als die anderen Gleichungen.

Die HFT- und XF-Gleichungen erzielten ein ähnliches Bestimmtheitsmaß bei  $VQ_{OS} > 60\%$ . Die besten Korrelationen haben wiederum die EuLOS-Gleichungen bei diesem Verdaulichkeitsniveau.

In allen geprüften Fällen erreichen die EuLOS-Formeln eine engere Korrelation als die anderen Schätzformeln (Ausnahme bei  $VQ_{OS} < 60\%$  für EuLOS<sup>96</sup>).

Tabelle 26: Bestimmtheitsmaß ( $\text{adj.}R^2$ ) und Standardfehler ( $S_{y,x}$ ) der Regressionsgleichungen zwischen in vivo-Meßwert und Schätzwert für die umsetzbare Energie (MJ/kg TS)

Variante	n	Schätzgleichung														
		ME XF			ME HFT			ME ELOS			ME EuLOS <sup>96</sup>			ME EuLOS <sup>99</sup>		
		adj.R <sup>2</sup>	$S_{y,x}$	$S_{y,x}\%$	adj.R <sup>2</sup>	$S_{y,x}$	$S_{y,x}\%$	adj.R <sup>2</sup>	$S_{y,x}$	$S_{y,x}\%$	adj.R <sup>2</sup>	$S_{y,x}$	$S_{y,x}\%$	adj.R <sup>2</sup>	$S_{y,x}$	$S_{y,x}\%$
<b>Gesamt</b>	42	<b>0,74</b>	0,23	2,4	<b>0,74</b>	0,53	5,6	<b>0,70</b>	0,66	7,0	<b>0,85</b>	0,38	4,0	<b>0,86</b>	0,43	4,5
1. Schnitt	24	<b>0,82</b>	0,22	2,3	<b>0,87</b>	0,45	4,7	<b>0,90</b>	0,47	4,9	<b>0,95</b>	0,26	2,7	<b>0,97</b>	0,24	2,5
2. Schnitt	18	<b>0,42</b>	0,24	2,6	<b>0,34</b>	0,55	5,9	<b>0,25</b>	0,56	6,0	<b>0,54</b>	0,42	4,5	<b>0,53</b>	0,45	4,8
A	16	<b>0,57</b>	0,23	2,3	<b>0,42</b>	0,35	3,4	<b>0,58</b>	0,42	4,1	<b>0,51</b>	0,45	4,4	<b>0,50</b>	0,48	4,7
B	13	<b>0,56</b>	0,29	3,0	<b>0,60</b>	0,33	3,4	<b>0,43</b>	0,28	2,9	<b>0,81</b>	0,27	2,8	<b>0,82</b>	0,28	2,9
C	13	<b>0,58</b>	0,18	2,1	<b>0,42</b>	0,63	7,4	<b>0,58</b>	0,84	9,8	<b>0,80</b>	0,36	4,2	<b>0,82</b>	0,40	4,7
$VQ_{OS}<60$	5	<b>0,46</b>	0,08	1,0	<b>0,18</b>	0,27	3,5	<b>0,18</b>	0,17	2,2	<b>0,10</b>	0,45	5,8	<b>0,63</b>	0,31	3,9
$VQ_{OS}>60$	37	<b>0,68</b>	0,24	2,5	<b>0,63</b>	0,49	5,0	<b>0,54</b>	0,60	6,2	<b>0,79</b>	0,37	3,8	<b>0,78</b>	0,44	4,5

ME XF: geschätzte Umsetzbare Energie nach Rohrnährstoffgleichungen; ME HFT: geschätzte Umsetzbare Energie nach HFT-Formel; ME ELOS: geschätzte Umsetzbare Energie nach ELOS-Gleichung; ME EuLOS<sup>96</sup>: geschätzte Umsetzbare Energie nach EuLOS-Gleichung von 1996; ME EuLOS<sup>99</sup>: geschätzte Umsetzbare Energie nach EuLOS-Gleichung von 1999.

Berücksichtigen wir die Standardfehler, so liegen sie für alle geprüften Fälle jedoch bei der Gleichung auf Basis der Rohnährstoffgehalte am geringsten. Die Schätzfehler sind bei der ELOS-Gleichung am höchsten.

Der geringste Schätzfehler für die EuLOS-Gleichungen ist beim 1. Schnitt und bei der Nutzung B.

In Tabelle 27 sind die Differenzwerte zwischen der gemessenen und geschätzten umsetzbaren Energie sowie die Standardabweichung der Differenzen dargestellt.

Betrachtet man die Differenzwerte der in vitro Verfahren zu den in vivo-Messungen für die Probengesamtheit, so sind die Abweichungen vom in vivo Wert beim HFT und der EuLOS-Gleichung (EuLOS<sup>96</sup>) am niedrigsten. Erwartungsgemäß wies die Rohnährstoffgleichung die höchsten Abweichungen auf.

Die Aufteilung nach Schnitt und Nutzung ergab für die verschiedenen Methoden schwankende Abweichungen. Uneinheitlich sind die Abweichungen beim ersten und zweiten Schnitt. Die geringste Abweichung im ersten Schnitt hat die HFT-Gleichung und im 2. Schnitt die EuLOS-Gleichung.

Unter der Wirkung der Nutzungsintensität traten die geringsten Abweichungen für alle Methoden bei der Nutzung A und B auf. Es zeigt sich deutlich, daß die Gleichung XF bei der extensiven Nutzungsvariante C die größte Abweichung aufweist.

Bei der Trennung der Daten nach der Höhe der Verdaulichkeit ( $VQ_{OS} > 60\%$ ,  $VQ_{OS} < 60\%$ ) erreichen die Schätzverfahren HFT und EuLOS das beste Ergebnis. Für alle angewendeten Gleichungen ist die Abweichung geringer bei  $VQ_{OS} > 60\%$  als bei  $VQ_{OS} < 60\%$ . Die Differenzen zum in vivo Wert sind in jedem Fall statistisch gesichert (Ausnahme bei  $VQ_{OS} < 60\%$ ).

Tabelle 27: Differenzen zwischen Energieschätzwert und –messwert (MJ ME/kg TS)

Variante	n		ME XF	ME HFT	ME ELOS	ME EuLOS <sup>96</sup>	ME EuLOS <sup>99</sup>
		Signif.niveau:	***	***	***	***	***
<b>Gesamt</b>	42	d	<b>0,48</b>	<b>0,07</b>	<b>-0,27</b>	<b>-0,03</b>	<b>-0,10</b>
		sd	0,69	0,54	0,65	0,39	0,42
		Signif.niveau:	***	***	***	***	***
1. Schnitt	24	d	<b>0,48</b>	<b>-0,07</b>	<b>-0,57</b>	<b>-0,15</b>	<b>-0,27</b>
		sd	0,79	0,44	0,48	0,27	0,26
		Signif.niveau:	**	**	*	***	***
2. Schnitt	18	d	<b>0,49</b>	<b>0,26</b>	<b>0,13</b>	<b>0,13</b>	<b>0,12</b>
		sd	0,55	0,61	0,66	0,48	0,49
		Signif.niveau:	***	**	***	**	**
A	16	d	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<b>-0,34</b>	<b>-0,10</b>	<b>-0,10</b>
		sd	0,42	0,46	0,42	0,46	0,48
		Signif.niveau:	**	**	**	***	***
B	13	d	<b>0,33</b>	<b>0,25</b>	<b>0,00</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>
		sd	0,56	0,52	0,63	0,37	0,35
		Signif.niveau:	**	**	**	***	***
C	13	d	<b>1,17</b>	<b>-0,07</b>	<b>-0,47</b>	<b>0,01</b>	<b>-0,24</b>
		sd	0,56	0,63	0,84	0,34	0,40
		Signif.niveau:	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
VQ <sub>os</sub> <60	5	d	<b>1,64</b>	<b>-0,09</b>	<b>-0,92</b>	<b>-0,06</b>	<b>-0,27</b>
		sd	0,30	0,61	0,52	0,41	0,27
		Signif.niveau:	***	***	***	***	***
VQ <sub>os</sub> >60	37	d	<b>0,32</b>	<b>0,09</b>	<b>-0,19</b>	<b>-0,04</b>	<b>-0,08</b>
		sd	0,57	0,53	0,63	0,40	0,43
		Signif.niveau:	***	***	***	***	***

\*  $\alpha < 0,05$ ; \*\*  $\alpha < 0,01$ ; \*\*\*  $\alpha < 0,001$ ; ME XF: geschätzte Umsetzbare Energie nach Rohrnährstoffgleichungen; ME HFT: geschätzte Umsetzbare Energie nach HFT-Formel; ME ELOS: geschätzte Umsetzbare Energie nach ELOS-Formel; ME EuLOS<sup>96</sup>: geschätzte Umsetzbare Energie nach EuLOS-Gleichung von 1996; ME EuLOS<sup>99</sup>: geschätzte Umsetzbare Energie nach EuLOS-Gleichung von 1999.

#### 4.6 Beziehungen zwischen gemessenen in vitro-Parametern und der in vivo-umsetzbaren Energie

Den Zusammenhang zwischen der in vivo-umsetzbaren Energie und der in vitro-Parameter fassen die Abbildungen 23 bis 25 und die Tabelle 28 zusammen.

Die Abbildung 23 veranschaulicht die Korrelation zwischen der in vivo-umsetzbaren Energie und der in vitro-Parameter aus HFT und Cellulasemethode für die Probengesamtheit.

Ähnlich wie bei der in vivo-Verdaulichkeit ist die Beziehung zwischen der in vivo-umsetzbaren Energie und dem unlöslichen Rest aus HFT bzw. aus der Cellulasemethode am engsten. Die Gasbildung hat eine engere Korrelation zur umsetzbaren Energie als ELOS.

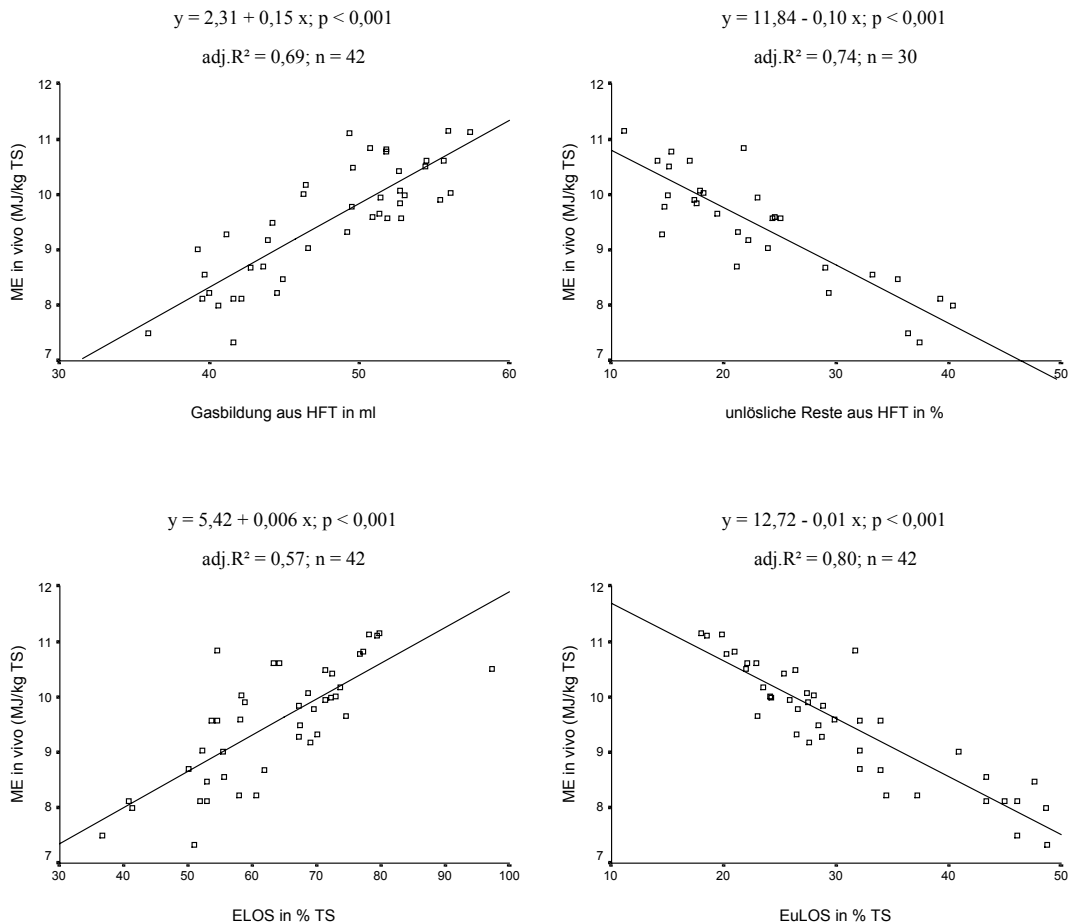


Abbildung 23: Regression der in vivo-ME zu in vitro-Parametern (Probengesamtheit)

Die Abbildungen 24 und 25 veranschaulichen die Korrelation zwischen der umsetzbaren Energie und der in vitro-Parameter für den 1. und 2. Schnitt.

Alle geprüften in vitro-Parameter haben eine engere Korrelation zur umsetzbaren Energie beim 1. Schnitt als beim 2. Schnitt. Am besten geeignet für die Korrelation ist der unlösliche Rest aus HFT und der Cellulasemethode beim 1. Schnitt. Beim 2. Schnitt ist die Korrelation für jeden Parameter ungeeignet.

Beim 1. und 2. Schnitt korreliert die in vivo-ME mit der Gasbildung aus HFT enger als mit den ELOS-Werten.

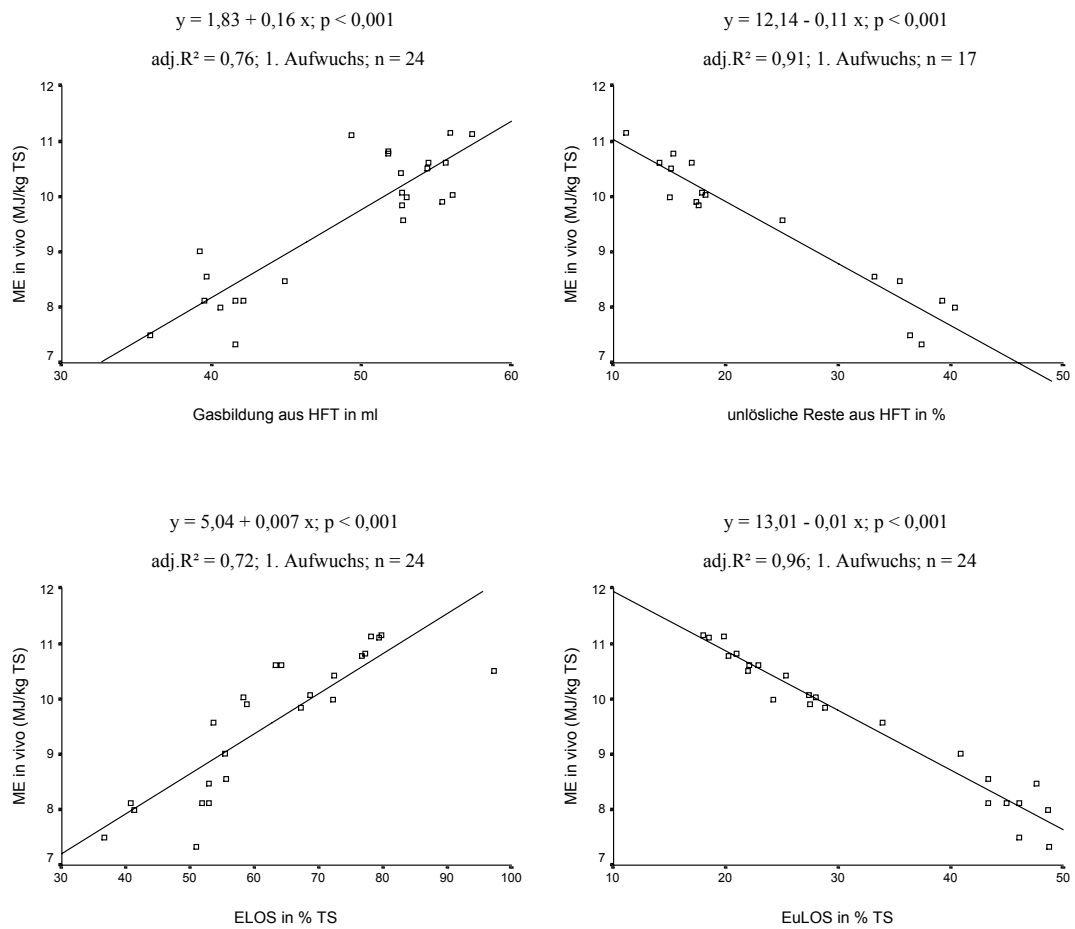


Abbildung 24: Regression der in vivo-ME zu in vitro-Parametern, 1. Aufwuchs

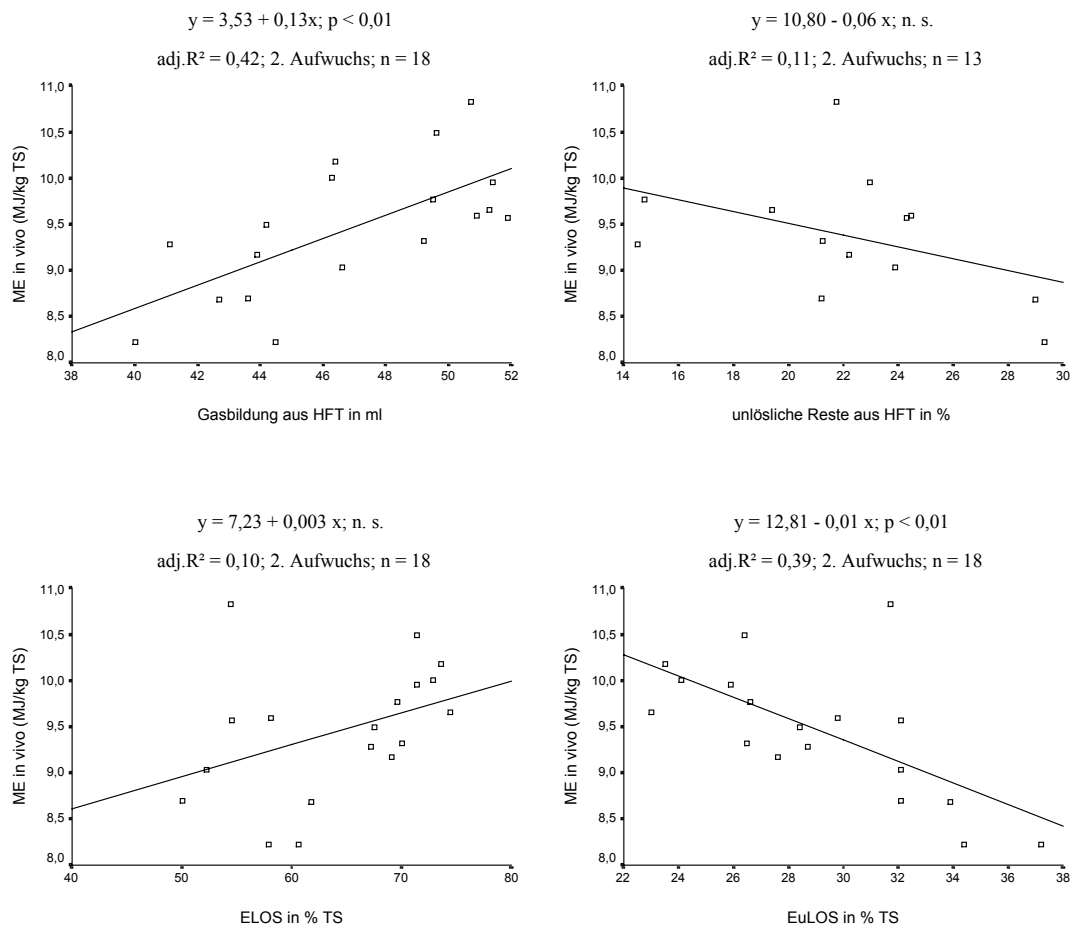


Abbildung 25: Regression der in vivo-ME zu in vitro-Parametern, 2. Aufwuchs

Die Tabelle 28 zeigt die Korrelation zwischen der umsetzbaren Energie und der in vitro-Parameter in Abhängigkeit von der Nutzungsintensität.

Bei der Trennung der Daten nach der Nutzungsvariante (A, B, C) war die Korrelation zwischen der in vivo-umsetzbaren Energie und den Parametern aus HFT bzw. der EuLOS-Werte bei der Nutzung B am engsten.

Zusammenfassend sind der unlösliche Rest aus der HFT- und Cellulasemethode die geeignetsten Parameter für die Korrelation zur in vivo-umsetzbaren Energie.



Tabelle 28: Der Zusammenhang zwischen der in vivo-umsetzbaren Energie (ME) und der in vitro-Parameter in Abhängigkeit von der Nutzungsvariante

Var. A				Var. B				Var. C			
Gleichung	adj. R <sup>2</sup>	Sig-nif.	n	Gleichung	adj. R <sup>2</sup>	Signif.	n	Gleichung	adj. R <sup>2</sup>	Signif.	n
y = ME =				y = ME =				y = ME =			
5,56 + 0,09 Gb	<b>0,10</b>	n. s.	16	3,38 + 0,13 Gb	<b>0,72</b>	***	13	2,76 + 0,14 Gb	<b>0,18</b>	n. s.	13
11,76 - 0,09 unl.Rest	<b>0,36</b>	*	12	12,55 - 0,15 unl.Rest	<b>0,72</b>	**	10	10,24 - 0,06 unl.Rest	<b>0,55</b>	*	8
7,79 + 0,004 ELOS	<b>0,23</b>	*	16	6,75 + 0,004 ELOS	<b>0,38</b>	*	13	5,27 + 0,006 ELOS	<b>0,64</b>	**	13
12,47 - 0,009 EuLOS	<b>0,45</b>	**	16	14,07 - 0,02 EuLOS	<b>0,85</b>	***	13	11,57 - 0,008 EuLOS	<b>0,66</b>	***	13

n.s.: nicht signifikant; \*  $\alpha < 0,05$ ; \*\*  $\alpha < 0,01$ ; \*\*\*  $\alpha < 0,001$ ; Gb: Gasbildung aus HFT; unl.Rest: der unlöliche Rest aus HFT; ELOS: Enzymlösliche organische Substanz; EuLOS: Enzymunlösliche organische Substanz.

## 4.7 Charakteristik der Einzelpflanzen

### 4.7.1 Chemische Zusammensetzung der Einzelpflanzen

Die bestandsbildenden Einzelpflanzen wurden in den Versuchsjahren 1997 und 1998 gewonnen. Da die Pflanzen zur Ernte auf einer Fläche z.T. unterschiedliche Reifegrade hatten, bemühten wir uns, eine repräsentative Probe des Bestandes zu gewinnen.

Es wurde für alle Einzelpflanzen, ausgenommen Deutsches Weidelgras, eine gleichmäßige Verteilung der Pflanzen nach Nutzungsart und Schnitt erreicht (s. Tabelle 29). Somit entspricht die Charakteristik der Einzelpflanzen, mit der Ausnahme Deutsches Weidelgras, dem gesamten Nutzungsspektrum. Die Ursache für die fehlenden Daten für Deutsches Weidelgras bei der Nutzung C ist der starke Rückgang des Ertragsanteils bei dieser Nutzung.

Tabelle 29: Charakterisierte Einzelpflanzen aus den Beständen und Verteilung nach Fläche, Nutzung und Schnitt

Pflanzenart	Vorkommen Fläche			Nutzung			Schnitt	
	5	6	7	A	B	C	1.	2.
Deutsches Weidelgras; <i>Lolium perenne</i>	x	x	x	n 8	n 8	n 2	n 8	n 10
Wiesenrispe; <i>Poa pratensis</i>	x	x		7	7	6	10	10
Rotschwingel; <i>Festuca rubra</i>	x			4	3	4	5	6
Wiesenlieschgras; <i>Phleum pratense</i>		x		3	4	4	5	6
Rohrschwingel; <i>Festuca arundinacea</i>			x	4	4	4	6	6
Glatthafer; <i>Arrhenatherum elatius</i>		x		2	3	4	4	5
Weißklee; <i>Trifolium repens</i>	x	x	x	4	12	12	13	15

n : Anzahl von Proben

Die Variationsbreite der Rohnährstoffgehalte sowie die Faserkomponenten sind innerhalb und zwischen den Pflanzenarten groß. Die chemische Zusammensetzung der Einzelpflanzen und deren Mittelwerte sowie die Schwankungsbreite sind in Tabellen 30 bis 33 und in Anhangstabellen 25 bis 36 veranschaulicht.

Die Steigerung der Faser und Senkung des Rohproteins bei den Einzelpflanzen sind unterschiedlich ausgeprägt. Die Größe der Veränderung ist ein Maß für die Qualitätseinbuße im Verlauf der Reife der Pflanzen bzw. in Abhängigkeit von der Nutzungsintensität (s. Anhangstabellen 28 bis 34).

Die Tabelle 30 zeigt die Rohnährstoffgehalte der Einzelgräser und Weißklee.

Ohne Berücksichtigung vom Deutschem Weidelgras (ungleichmäßige Verteilung der Nutzung) hat Wiesenrispe beim ersten Aufwuchs innerhalb der Gräserarten den höchsten mittleren Gehalt an Rohprotein, gefolgt von Rotschwingel und Wiesenlieschgras. Den geringsten Rohproteingehalt und höchsten Fasergehalt haben Rohrschwingel und Glatthafer. Den geringsten Rohproteingehalt beim 2. Schnitt wiesen Glatthafer, Rohrschwingel und Wiesenlieschgras auf. Die Unterschiede zu den anderen Pflanzenarten sind signifikant.

Ein starker Abfall des Proteingehaltes ist bei extensiver Nutzung C zu bemerken, besonders beim 1. Schnitt. Bei Glatthafer nahm der Rohproteingehalt von A1 auf C1 um 68 % ab, bei Rohrschwingel um 58 % und bei Wiesenlieschgras um 54 % (Anhangstabelle 25-31).

Wie die Anhangstabellen 33 bis 39 Rohnährstoffgehalte der Einzelgräser und Weißklee zeigen, steigt der Rohfasergehalt innerhalb eines Grases von der Nutzung A zu C, besonders beim ersten Aufwuchs, stark an. Bei den Gräsern ist diese Steigerung bei Glatthafer (der Rohfasergehalt liegt bei C1 um 19 % höher als bei A1) am höchsten. Der Gehalt an Rohfaser der Einzelpflanzen ist beim zweiten Aufwuchs niedriger als beim ersten Aufwuchs.

Die in der Literatur beschriebene chemische Zusammensetzung (Rohprotein- und Rohfasergehalt) entspricht unseren Ergebnissen (Vgl. 2.1.3.). Im Vergleich mit DLG-Tabellen haben Wiesenlieschgras und Glatthafer niedrigere Rohproteingehalte und höhere Rohfasergehalte als bei unseren Untersuchungen.

Tabelle 30: Rohnährstoffgehalte der Einzelgräser und Weißklee (Hauptbestandsbildner)

Jahr	Schnitt	Einflußfaktoren		Rohnährstoffgehalte in g/kg TS		
			n	OS	XP	XF
97 u. 98	1.	Pflanzenart: Deutsches				
		Weidelgras	8	921 <sup>ab</sup>	129 <sup>c</sup>	258 <sup>b</sup>
		Wiesenrispe	10	933 <sup>cd</sup>	121 <sup>c</sup>	300 <sup>c</sup>
		Rotschwingel	5	945 <sup>d</sup>	100 <sup>b</sup>	316 <sup>c</sup>
		Wiesenlieschgras	5	924 <sup>bc</sup>	96 <sup>ab</sup>	282 <sup>bc</sup>
		Rohrschwingel	6	926 <sup>bc</sup>	85 <sup>ab</sup>	297 <sup>c</sup>
		Glatthafer	4	936 <sup>cd</sup>	83 <sup>a</sup>	320 <sup>c</sup>
		Weißklee	13	903 <sup>a</sup>	207 <sup>d</sup>	190 <sup>a</sup>
97 u. 98	2.	Pflanzenart: Deutsches				
		Weidelgras	10	931 <sup>c</sup>	102 <sup>ab</sup>	263 <sup>b</sup>
		Wiesenrispe	10	920 <sup>b</sup>	148 <sup>c</sup>	254 <sup>b</sup>
		Rotschwingel	6	928 <sup>bc</sup>	119 <sup>b</sup>	269 <sup>bc</sup>
		Wiesenlieschgras	6	946 <sup>d</sup>	84 <sup>a</sup>	260 <sup>b</sup>
		Rohrschwingel	6	905 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	262 <sup>b</sup>
		Glatthafer	5	935 <sup>c</sup>	89 <sup>a</sup>	286 <sup>c</sup>
		Weißklee	15	910 <sup>a</sup>	196 <sup>d</sup>	194 <sup>a</sup>

Signifikanz im F-Test ( $\alpha < 0,05$ ; bei Signifikanz folgt LSD-Test); Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte sind signifikant,  $p < 0,05$ ; OS: Organische Substanz; XP: Rohprotein; XF: Rohfaser.

Die Tabelle 31 fasst den Gehalt von herkömmlichen Faserkomponenten sowie vom säurelöslichen Lignin und Gesamtlignin zusammen.

Beim ersten Aufwuchs ergaben sich für ADL keine signifikanten Unterschiede zwischen den untersuchten Gräsern. Den höchsten ADF-Gehalt haben Rotschwingel und Glatthafer.

Mit Ausnahme von Deutschem Weidelgras ist beim zweiten Aufwuchs der ADF-Gehalt der Gräser niedriger als beim ersten Aufwuchs. Der ADL-Gehalt von Wiesenlieschgras und Glatthafer ist hier höher als beim ersten Schnitt.

ADF und ADL schwanken innerhalb und zwischen den Pflanzenarten besonders unter der Wirkung der Nutzungsintensität stark (s. Anhangstabelle 25 bis 31).

Der Gehalt an ADF bzw. ADL steigt von intensiver Nutzung A auf extensiver Nutzung C stark an, am deutlichsten ist er beim 1. Schnitt. Bei Glatthafer nahm der ADF-Gehalt von Nutzungsvariante A1 auf C1 um 24 % zu, bei Wiesenlieschgras und Wiesenrispe um 17 %. Noch stärker ist die Steigerung des ADL-Gehaltes von der Nutzung A auf C (beim 1. Schnitt). Bei Glatthafer ist dieser Gehalt bei C1 62 % (bei Wiesenlieschgras 60 %) höher als bei A1.

Beim ersten Aufwuchs ist das lösliche Lignin von Glatthafer signifikant niedriger als bei anderen Gräserarten. Den höchsten Gehalt vom säurelöslichen Lignin hat Wiesenrispe beim zweiten Aufwuchs.

Tabelle 31: Zellwandbestandteile von Gräsern und Weißklee (Hauptbestandsbildner)

Jahr	Schnitt	Einflußfaktoren		Zellwandbestandteile in g/kg TS					
			n	NDF	ADF	ADL	n	Lignin <sup>1</sup>	ges.Lign
97 u. 98	1.	Pflanzenart: Deutsches							
		Weidelgras	8	522 <sup>b</sup>	282 <sup>b</sup>	26 <sup>a</sup>	6	100 <sup>c</sup>	127 <sup>b</sup>
		Wiesenrispe	10	610 <sup>cd</sup>	327 <sup>c</sup>	33 <sup>a</sup>	5	91 <sup>b</sup>	128 <sup>b</sup>
		Rotschwingel	5	636 <sup>e</sup>	342 <sup>cd</sup>	38 <sup>a</sup>	4	76 <sup>ab</sup>	114 <sup>ab</sup>
		Wiesenlieschgras	5	579 <sup>c</sup>	314 <sup>c</sup>	33 <sup>a</sup>	2	-	-
		Rohrschwingel	6	586 <sup>c</sup>	330 <sup>c</sup>	30 <sup>a</sup>	2	-	-
		Glatthafer	4	615 <sup>de</sup>	352 <sup>d</sup>	31 <sup>a</sup>	3	64 <sup>a</sup>	101 <sup>a</sup>
		Weißklee	13	280 <sup>a</sup>	235 <sup>a</sup>	47 <sup>b</sup>	2	-	-
97u. 98	2.	Pflanzenart: Deutsches							
		Weidelgras	10	548 <sup>b</sup>	289 <sup>b</sup>	30 <sup>bc</sup>	5	81 <sup>a</sup>	113 <sup>a</sup>
		Wiesenrispe	10	545 <sup>b</sup>	280 <sup>b</sup>	20 <sup>a</sup>	7	108 <sup>b</sup>	127 <sup>a</sup>
		Rotschwingel	6	575 <sup>b</sup>	293 <sup>b</sup>	21 <sup>ab</sup>	5	89 <sup>ab</sup>	110 <sup>a</sup>
		Wiesenlieschgras	6	558 <sup>b</sup>	296 <sup>bc</sup>	38 <sup>c</sup>	3	87 <sup>ab</sup>	130 <sup>a</sup>
		Rohrschwingel	6	558 <sup>b</sup>	298 <sup>bc</sup>	23 <sup>ab</sup>	4	86 <sup>a</sup>	109 <sup>a</sup>
		Glatthafer	5	567 <sup>b</sup>	318 <sup>c</sup>	34 <sup>c</sup>	3	84 <sup>a</sup>	122 <sup>a</sup>
		Weißklee	15	320 <sup>a</sup>	261 <sup>a</sup>	71 <sup>d</sup>	5	91 <sup>ab</sup>	163 <sup>b</sup>

Signifikanz im F-Test ( $\alpha < 0,05$ ; bei Signifikanz folgt LSD-Test); Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte sind signifikant,  $p < 0,05$ ; NDF: Neutral-Detergentien-Faser; ADF: Säure-Detergentien-Faser; ADL: Säure-Detergentien-Lignin; 1 = säurelösliches Lignin; ges. Lign: Gesamt-Lignin (= ADL + säurelösliches Lignin).

Der Effekt von der Pflanzenart, Nutzung bzw. vom Schnitt auf die Hemicellulosebestandteile Xylose und Arabinose ist nicht so deutlich wie auf die herkömmlichen Faserkomponenten (s. Tabelle 32 und Anhangstabelle 32 bis 36).

Beim ersten Aufwuchs gibt es keine deutlichen Unterschiede für den Xylose- bzw. Arabinose-Gehalt zwischen den Gräserarten. Aber die Ermittlung des Xyl:Ara- Verhältnisses zeigt deutlicher den höchsten Wert für Glatthafer. Beim zweiten Aufwuchs hat Rohrschwingel und Glatthafer den höchsten Xyloseanteil (s. Tabelle 32). Etwas geringeren Gehalt an Xylose haben Wiesenrispe, Rotschwingel und Glatthafer beim zweiten Schnitt im Vergleich mit dem ersten Schnitt.

Die Abhängigkeit des Gehaltes der Hemicellulosemonomeren von der Nutzungsintensität ist in den Anhangstabellen 35 bis 39 dargestellt.

Die Steigerung des Xylosegehaltes von der Nutzung A zu C beim ersten Schnitt ist nicht so stark wie die Steigerung des Xylose:Arabinose Verhältnisses. Zum Beispiel bei Wiesenrispe ist der Gehalt an Xylose bei C1 nur 5 % höher als bei A1, aber das Xylose:Arabinose Verhältnis liegt 22 % höher als bei A1.

Tabelle 32: Kohlenhydratmonomere der Einzelgräser und Weißklee (Hauptbestandsbildner)

Jahr	Schnitt	Einflußfaktoren		Zellwandbestandteile in g/kg TS					
			n	Hemi.	Cellul.	n	Xyl	Ara	Xyl:Ara
97 u. 98	1.	Pflanzenart: Deutsches							
		Weidelgras	8	240 <sup>b</sup>	255 <sup>b</sup>	6	120 <sup>a</sup>	33 <sup>a</sup>	3,72 <sup>a</sup>
		Wiesenrispe	10	283 <sup>de</sup>	294 <sup>c</sup>	5	158 <sup>b</sup>	39 <sup>b</sup>	4,10 <sup>ab</sup>
		Rotschwingel	5	294 <sup>e</sup>	305 <sup>cd</sup>	4	169 <sup>b</sup>	34 <sup>ab</sup>	4,97 <sup>bc</sup>
		Wiesen-							
		lieschgras	5	265 <sup>cd</sup>	281 <sup>c</sup>	2	-	-	-
		Rohrschwingel	6	256 <sup>c</sup>	300 <sup>c</sup>	2	-	-	-
		Glatthafer	4	263 <sup>cd</sup>	321 <sup>d</sup>	3	176 <sup>b</sup>	30 <sup>a</sup>	5,90 <sup>c</sup>
		Weißklee	13	45 <sup>a</sup>	187 <sup>a</sup>	2	-	-	-
97u. 98	2.	Pflanzenart: Deutsches							
		Weidelgras	10	259 <sup>b</sup>	259 <sup>b</sup>	5	137 <sup>c</sup>	33 <sup>b</sup>	4,20 <sup>d</sup>
		Wiesenrispe	10	365 <sup>bc</sup>	260 <sup>b</sup>	7	118 <sup>b</sup>	40 <sup>c</sup>	3,00 <sup>b</sup>
		Rotschwingel	6	282 <sup>c</sup>	271 <sup>bc</sup>	5	145 <sup>c</sup>	37 <sup>c</sup>	3,94 <sup>cd</sup>
		Wiesen-							
		lieschgras	6	263 <sup>bc</sup>	258 <sup>b</sup>	3	129 <sup>c</sup>	37 <sup>bc</sup>	3,51 <sup>c</sup>
		Rohrschwingel	6	260 <sup>b</sup>	275 <sup>bc</sup>	4	163 <sup>d</sup>	40 <sup>c</sup>	4,09 <sup>cd</sup>
		Glatthafer	5	248 <sup>b</sup>	285 <sup>c</sup>	3	149 <sup>cd</sup>	39 <sup>c</sup>	3,79 <sup>cd</sup>
		Weißklee	15	59 <sup>a</sup>	189 <sup>a</sup>	5	31 <sup>a</sup>	24 <sup>a</sup>	1,39 <sup>a</sup>

Signifikanz im F-Test ( $\alpha < 0,05$ ; bei Signifikanz folgt LSD-Test); Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte sind signifikant,  $p < 0,05$ ; Hemi.: Hemicellulosen; Cellul.: Cellulose; Xyl: Xylose; Ara: Arabinose.

Auf Grund der geringen Daten von pCA und FA der Einzelpflanzen wurde hier die Probengesamtheit (nicht getrennt nach 1. und 2. Schnitt) statistisch ausgewertet (s. Tabelle 33).

Den höchsten pCA-Gehalt weist Glatthafer auf. Auch die Ermittlung des pCA:FA-Verhältnisses zeigt den höchsten Wert für Glatthafer. Wiesenlieschgras hat den geringsten Gehalt an pCA bzw. FA innerhalb der Gräser.

Tabelle 33: Phenolische Säuren von Gräsern und Weißklee (Hauptbestandsbildner)

Jahr	Schnitt	Einflußfaktoren	in g/kg TS			
		<b>Pflanzenart:</b>	n	pCA	FA	pCA:FA
1997	1.	Deutsches Weidelgras	2	-	-	-
		Wiesenrispe	5	2,0 <sup>bc</sup>	3,4 <sup>c</sup>	0,61 <sup>b</sup>
		Rotschwingel	4	2,7 <sup>cd</sup>	3,3 <sup>c</sup>	0,83 <sup>bc</sup>
1998	2.	Wiesenlieschgras	3	1,6 <sup>b</sup>	2,1 <sup>b</sup>	0,75 <sup>b</sup>
		Rohrschwingel	3	2,6 <sup>c</sup>	3,2 <sup>c</sup>	0,85 <sup>bc</sup>
		Glatthafer	3	3,2 <sup>d</sup>	3,3 <sup>c</sup>	1,04 <sup>c</sup>
		Weißklee	7	0,2 <sup>a</sup>	0,7 <sup>a</sup>	0,27 <sup>a</sup>

Signifikanz im F-Test ( $\alpha < 0,05$ ; bei Signifikanz folgt LSD-Test); Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte sind signifikant,  $p < 0,05$ ; pCA: p-Cumarsäure; FA: Ferulasäure.

Die chemische Zusammensetzung von Weißklee ist anders als die von den Gräsern (s. Tabelle 30 bis 33).

Weißklee ist ein wichtiger Faktor, der die chemische Zusammensetzung von Pflanzenbeständen beeinflussen kann. Beim ersten Aufwuchs hat Weißklee 37-60 % höheren Rohproteingehalt und 26-41 % geringeren Rohfasergehalt im Vergleich zu den Gräsern (s. Tabelle 30). Diese Unterschiede sind beim zweiten Schnitt etwas geringer.

Der Gehalt an ADL liegt bei Weißklee deutlich höher als bei den Gräsern. Dieser Gehalt ist beim ersten Aufwuchs 19-45 % höher als bei den Gräsern und beim zweiten Aufwuchs 46-72 % höher (s. Tabelle 31). Wie die Tabelle 32 zeigt, enthält Weißklee viel geringeren Hemicellulose- bzw. Cellulosegehalt als Gräser. Damit ist der Gehalt an Xylose bzw. das Xylose:Arabinose Verhältnis viel niedriger als bei den Gräsern. Ebenso hat Weißklee einen extrem geringeren Gehalt an pCA bzw. FA im Vergleich zu den Gräsern (s. Tabelle 33 und Anhangstabelle 35 bis 39).

Das bedeutet, daß auf Beständen mit erhöhtem Kleeanteil, z.T. bis 50 % Ertragsanteil (s. Anhangstabelle 5), die chemischen Eigenschaften des Klees die Zusammensetzung der Bestände deutlich beeinflusst. Die bei Gräsern deutlich ausgeprägten Zusammenhänge zwischen der Nutzung und der Faserkomponenten wird dadurch verwischt.

Die Anhangstabelle 31 fasst die Schwankungsbreite und die mittleren Werte der Rohnährstoffgehalte sowie der herkömmlichen Faserkomponenten von Weißklee zusammen. Die Schwankungsbreite und die mittleren Werte der Hemicellulosemonomeren- sowie phenolischen Säuren-Gehalte von Weißklee sind in Anhangstabelle 36 dargestellt.

Die Wirkung der Nutzungsintensität auf die Faserkomponenten von Weißklee ist stärker als von den Gräsern zu verzeichnen. Für den ersten Schnitt liegt der Gehalt an ADL bei extensiver Nutzung C 62 % höher als bei intensiver Nutzung A.

Der gesamte ADF-Gehalt von Weißklee ist bei der Nutzungsvariante C1 33 % höher als bei A1.

Insgesamt kann zusammengefasst werden, daß die Veränderungen der Gehaltswerte bei den Einzelpflanzen in Abhängigkeit von den Aufwuchsbedingungen unterschiedlich ausgeprägt sind. Die stärkste Schwankungsbreite der chemischen Zusammensetzung hat Weißklee, mit signifikant höheren Rohproteingehalten und signifikant niedrigeren Fasergehalten als die

Gräser. Die phenolischen Monomeren und auch Xylose- und Arabinose- Gehalte sind signifikant niedriger.

Starke Qualitätseinbußen mit der Reife zeigen Glatthafer und Wiesenrispe sowie Wiesenlieschgras. Bei diesen Pflanzen unterliegen die Gehaltswerte den stärksten Schwankungen. Glatthafer hat insgesamt einen niedrigen Rohprotein- und hohen Fasergehalt und wird als weniger wertvolles Gras eingestuft. Wiesenrispe als wertvolles Futtergras mit hohem Rohprotein und geringem Fasergehalt bei intensiver Nutzung unterliegt starken Qualitätseinbußen bei Extensivierung.

Bei den anderen Pflanzen sind die Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung in Abhängigkeit von der Nutzung geringer, was auf eine verminderte Qualitätseinbuße bei geringerer Nutzungsintensität hindeutet.

#### 4.7.2 Die netto Gasbildung und der unlösliche Rest nach HFT und die in vitro umsetzbare Energie der Einzelpflanzen

Um den Effekt der Pflanzenart auf die Qualität der Bestände zu erfassen, wurden die Einzelpflanzen nicht nur chemisch charakterisiert sondern auch die Gasbildung im HFT gemessen.

Aus den analysierten Rohnährstoffgehalten sowie der Netto Gasbildung wurde der Energiegehalt geschätzt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 34 und Anhangstabellen 32 bis 36 zusammengefasst.

Die Netto Gasbildung schwankt innerhalb und zwischen den Pflanzenarten.

Die Tabelle 34 zeigt, dass die Netto Gasbildung zwischen 1. und 2. Schnitt für die einzelnen Gräser eine unterschiedliche Tendenz aufweist. Eine höhere Gasbildung im 1. Schnitt haben Wiesenlieschgras und Rohrschwingel (ohne Berücksichtigung von Deutschem Weidelgras). Die geringste Gasbildung haben Wiesenrispe und Rotschwingel.

Auch Wiesenlieschgras und Rohrschwingel haben eine höhere Gasbildung im 2. Schnitt. Die geringste Gasbildung hat Glatthafer.

Der unlösliche Rest schwankt innerhalb und zwischen den Pflanzenarten, ist jedoch im 1. Schnitt größer als im 2. Schnitt.

Rotschwingel hat den höchsten unlöslichen Rest im 1. Schnitt. Rotschwingel hat im 2. Schnitt den unlöslichen Rest 23 % niedriger als im 1. Schnitt. Glatthafer hat den höchsten unlöslichen Rest im 2. Schnitt.

Die Gasbildung und der unlösliche Rest variieren sehr stark nach der Nutzungsintensität (s. Anhangstabelle 35 bis 39).

Bei Glatthafer liegt die Gasbildung von A1 33 % höher als von C1 und hat um 63 % geringere unlösliche Reste als C1. Bei Wiesenrispe ist die Gasbildung von A1 30 % höher als von C1, die unlöslichen Reste sind um 50 % geringer als von C1.

Die errechnete umsetzbare Energie nach der XF- und HFT-Formel variiert innerhalb und zwischen Pflanzenarten. Der Energiewert nach der XF-Formel ist größer als der aus der HFT-Formel. Die Schwankungsbreite ist bei der HFT-Formel größer.

Wiesenrispe und Wiesenlieschgras haben sowohl beim 1. Schnitt als auch beim 2. Schnitt einen höheren Energiegehalt als die anderen Gräser (ohne Berücksichtigung von Deutschem Weidelgras). Nach der HFT-Gleichung haben Rohrschwingel und Glatthafer einen geringen Energiegehalt, bei Rohrschwingel ist er am geringsten.

Die Schwankungsbreite der geschätzten umsetzbaren Energie der Einzelpflanzen ist unter der Nutzungsintensität sehr groß (s. Anhangstabellen 35 bis 39).

Bei Glatthafer bzw. Wiesenrispe ist der Energiegehalt (nach der HFT-Gleichung) bei der Nutzungsvariante A1 40 bzw. 24 % höher als bei C1. Aber die gleichen Gräserarten haben bei A1 nur 11 % bzw. 7 % höheren Energiegehalt als bei C1 (nach der XF-Gleichung).

Die Gasbildung bei Weißklee entspricht etwa der der Gräser, aber der unlösliche Rest liegt bei Weißklee viel niedriger als bei den Gräsern (s. Tabelle 34). Beim 1. Schnitt hat Weißklee ca. 6 % höhere Gasbildung als die Gräser und entsprechend 46 % geringeren unlöslichen Rest.

Die Schwankungsbreite der Gasbildung nach der Nutzungsintensität ist nicht so stark wie bei den Gräsern (s. Anhangstabelle 39). Die mittlere Gasbildung liegt bei der Nutzungsvariante A1 14 % höher als bei C1.

Die Variationsbreite des unlöslichen Restes von Weißklee schwankt sehr stark nach der Nutzung. Der unlösliche Rest liegt bei extensiver Nutzung C1 55 % höher als bei A1.

Weißklee hat den höchsten errechneten Energiegehalt mit 10,7 MJ ME/kg TS (11,5 MJ ME/kg TS nach XF-Gleichung) beim 1. Schnitt und 10,3 MJ ME/kg TS (10,7 MJ ME/kg TS nach XF-Gleichung) beim 2. Schnitt.

Die Variationsbreite des Energiegehaltes von Weißklee schwankt nach der Nutzung nicht so stark wie bei den Gräsern. Der Energiegehalt nach HFT-Formel liegt bei der Nutzungsvariante A1 16 % höher als bei C1.

Rohrschwengel liegt zwischen 71 und 98 % bzw. zwischen 54 und 95 % des Bestandes der Fläche 7 beim 1. bzw. 2. Schnitt und hat um ca. 9 % bzw. um ca. 2 % geringeren Energiegehalt als der Bestand 7 (Berechnung nach der HFT-Formel).

Die Energiewerte der Einzelgräser sind niedriger als die Energiewerte der Bestände bei Fläche 5 und 6, da die Bestände Weißklee (höherer Energiegehalt) enthalten.



Tabelle 34: In vitro-Parameter und die geschätzte umsetzbare Energie (ME) von Gräsern und Weißklee (Hauptbestandsbildner)

Jahr	Schnitt	Einflußfaktoren		in vitro-Parameter und ME-Schätzwerte			
			n	unl.Rest	netto Gb	ME XF	ME HFT
				g/kg TS	ml	MJ/kg TS	
97 u. 98	1.	Pflanzenart: Deutsches					
		Weidelgras	8	204 <sup>a</sup>	54 <sup>c</sup>	10,3 <sup>b</sup>	9,9 <sup>bc</sup>
		Wiesenrispe	10	269 <sup>bc</sup>	48 <sup>a</sup>	9,9 <sup>ab</sup>	9,3 <sup>abc</sup>
		Rotschwingel	5	302 <sup>c</sup>	47 <sup>a</sup>	9,7 <sup>a</sup>	8,9 <sup>ab</sup>
		Wiesen-					
		lieschgras	5	221 <sup>b</sup>	56 <sup>c</sup>	9,9 <sup>ab</sup>	9,7 <sup>abc</sup>
		Rohrschwingel	6	265 <sup>bc</sup>	52 <sup>b</sup>	9,7 <sup>a</sup>	8,4 <sup>a</sup>
		Glatthafer	4	268 <sup>c</sup>	50 <sup>a</sup>	9,4 <sup>a</sup>	8,7 <sup>bc</sup>
		Weißklee	13	137 <sup>a</sup>	54 <sup>bc</sup>	11,5 <sup>c</sup>	10,7 <sup>c</sup>
97u. 98	2.	Pflanzenart: Deutsches					
		Weidelgras	10	231 <sup>b</sup>	52 <sup>bc</sup>	10,1 <sup>c</sup>	9,3 <sup>b</sup>
		Wiesenrispe	10	206 <sup>ab</sup>	50 <sup>b</sup>	10,2 <sup>cd</sup>	9,9 <sup>cd</sup>
		Rotschwingel	6	232 <sup>b</sup>	49 <sup>ab</sup>	10,1 <sup>c</sup>	9,2 <sup>ab</sup>
		Wiesen-					
		lieschgras	6	243 <sup>bc</sup>	54 <sup>c</sup>	10,3 <sup>d</sup>	9,4 <sup>bc</sup>
		Rohrschwingel	6	228 <sup>b</sup>	51 <sup>bc</sup>	9,8 <sup>a</sup>	8,7 <sup>a</sup>
		Glatthafer	5	284 <sup>c</sup>	46 <sup>a</sup>	9,9 <sup>b</sup>	9,1 <sup>ab</sup>
		Weißklee	15	190 <sup>a</sup>	50 <sup>b</sup>	10,7 <sup>e</sup>	10,3 <sup>d</sup>

Signifikanz im F-Test ( $\alpha < 0,05$ ; bei Signifikanz folgt LSD-Test); Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte sind signifikant,  $p < 0,05$ ; unl. Rest: unlöslicher Rest aus HFT; Gb: Gasbildung aus HFT; ME XF: geschätzte umsetzbare Energie nach den Rohrnährstoffgleichungen; ME HFT: geschätzte umsetzbare Energie nach HFT-Formel.

#### 4.7.3 Beziehung zwischen der geschätzten umsetzbaren Energie nach der HFT und der chemischen Zusammensetzung der Zellwandkohlenhydrate der Einzelpflanzen

Mit den berechneten Energiegehalten der Einzelpflanzen leiteten wir Regressionsberechnungen parallel zu den Berechnungen der Bestände ab.

Die Tabelle 35 zeigt die Ergebnisse dieser Berechnungen für die Gesamtheit der Einzelpflanzen (ohne Weißklee).

Von den herkömmlichen Faserkomponenten zeigen ADF und ADL die engsten Beziehungen zum Energiegehalt. Das Xylose:Arabinose Verhältnis zeigt für die meisten Pflanzen eine enge Korrelation. Als Maß der Lignifizierung ist der Quotient aus ADL und Gesamtlignin höher korreliert als das ADL:ADF Verhältnis.

Multiple lineare Regressionen unter Einbeziehung der Hemicellulosemonomeren ergeben signifikante Zusammenhänge, die einen höheren Korrelationskoeffizienten haben als die geprüften Einzelparameter.

Tabelle 35: Einfache und multiple lineare Regression der Gesamtheit der Einzelpflanzen (ohne Weißklee): der Zusammenhang zwischen geschätzter ME und Zellwandbestandteilen

lineare Funktion	adj.R <sup>2</sup>	Signifikanz	n
y = ME (HFT) =			
<b>Einfache lineare Regression</b>			
Herkömmliche Faserkomponenten:			
16,42 - 0,026 XF	<b>0,39</b>	***	81
18,55 - 0,016 NDF	<b>0,45</b>	***	81
17,12 - 0,026 ADF	<b>0,53</b>	***	81
11,42 - 0,074 ADL	<b>0,52</b>	***	81
Hemicellulosemonomeren:			
14,46 - 0,038 Xylose	<b>0,42</b>	***	49
13,46 - 1,06 Xylose:Arabinose	<b>0,61</b>	***	49
Ligninkomponenten:			
4,90 + 0,048 lösl. Lignin	<b>0,55</b>	***	49
Lignifizierungsgrad:			
11,49 - 23,71 ADL:ADF	<b>0,35</b>	***	81
11,53 - 8,98 ADL:Gesamt lignin	<b>0,66</b>	***	49
<b>Multiple lineare Regression</b>			
Herkömmliche Faserkomponenten:			
14,39 - 0,013 XF - 0,055 ADL	<b>0,57</b>	***	81
15,26 - 0,016 ADF - 0,042 ADL	<b>0,61</b>	***	81
Hemicellulosemonomeren und Lignifizierung:			
11,12 - 0,04 ADL - 1,30 :FA	<b>0,47</b>	n. s.	20
13,22 - 0,042 ADL - 0,68 Xyl:Ara	<b>0,71</b>	***	49
14,82 - 0,028 Xyl - 17,74 ADL:ADF	<b>0,60</b>	***	49
13,78 - 0,020 Xyl - 0,056 ADL	<b>0,65</b>	***	49

\* p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001; XF: Rohfaser; NDF: Neutrag-Detergentien-Faser; ADF: Säure-Detergentien-Faser; ADL: Säure-Detergentien-Lignin; ADL:ADF: Lignifizierungsgrad; lösl. Lignin: säurelösliches Lignin; Xyl: Xylose; Ara: Arabinose; FA: Ferulasäure; ME (HFT): geschätzte Umsetzbare Energie nach HFT-Formel.

Weiterhin wurden die entsprechenden Regressionen für die Gesamtheit der Einzelpflanzen mit Weißklee berechnet, um zu prüfen, welchen Einfluss Weißklee auf die Beziehung zur umsetzbaren Energie hat.

Die Ergebnisse der Regressionsberechnungen sind in Tabelle 36 dargestellt.

Der Weißklee-Anteil hat einen deutlichen Einfluss auf die Korrelation zwischen der geschätzten umsetzbaren Energie und den Zellwandbestandteilen.

Für die Gesamtheit der Einzelpflanzen mit Weißklee hat ADL keine Korrelation zur geschätzten umsetzbaren Energie (Vgl. Einzelpflanzen ohne Weißklee mit  $\text{adj.R}^2 = 0,52$ , s. Tabelle 35). Mit Weißklee konnte ebenso keine Korrelation für den Lignifizierungsgrad nachgewiesen werden (Vgl. ohne Weißklee mit  $\text{adj.R}^2 = 0,35$ ).

Tabelle 36: Einfache und multiple lineare Regression der Gesamtheit der Einzelpflanzen (mit Weißklee): der Zusammenhang zwischen geschätzter ME und Zellwandbestandteilen

lineare Funktion	adj.R <sup>2</sup>	Signifikanz	n
y = ME (HFT) =			
<b>Einfache lineare Regression</b>			
Herkömmliche Faserkomponenten:			
13,66 - 0,02 XF	<b>0,44</b>	***	109
12,57 - 0,006 NDF	<b>0,42</b>	***	109
15,36 - 0,02 ADF	<b>0,60</b>	***	109
9,69 - 0,004 ADL	<b>0,004</b>	n. s.	109
Hemicellulosemonomeren:			
11,12 - 0,02 Xylose	<b>0,25</b>	***	56
11,92 - 0,72 Xylose:Arabinose	<b>0,50</b>	***	56
Ligninkomponenten:			
4,98 + 0,05 säurelösliches Lignin	<b>0,52</b>	***	56
Lignifizierungsgrad:			
9,13 - 3,06 ADL:ADF	<b>0,04</b>	*	109
10,94 - 6,03 ADL:Gesamtlinin	<b>0,35</b>	***	56
<b>Multiple lineare Regression</b>			
Herkömmliche Faserkomponenten:			
14,72 - 0,02 XF - 0,02 ADL	<b>0,52</b>	***	109
15,46 - 0,02 ADF - 0,003 ADL	<b>0,60</b>	***	109
Hemicellulosemonomeren und Lignifizierung:			
11,21 - 0,01 ADL - 2,57 :FA	<b>0,43</b>	***	27
13,25 - 0,03 ADL - 0,79 Xyl:Ara	<b>0,69</b>	***	56
14,66 - 0,03 Xyl - 14,56 ADL:ADF	<b>0,55</b>	***	56
13,94 - 0,02 Xyl - 0,04 ADL	<b>0,62</b>	***	56

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; XF: Rohfaser; NDF: Neutrag-Detergentien-Faser; ADF: Säure-Detergentien-Faser; ADL: Säure-Detergentien-Lignin; ADL:ADF: Lignifizierungsgrad; säurelösl. Lignin: säurelösliches Lignin; Xyl: Xylose; Ara: Arabinose; FA: Ferulasäure; ME (HFT): geschätzte Umsetzbare Energie nach HFT-Formel.

Die für die einzelnen Pflanzenspezies durchgeführten Regressionsberechnungen ergaben uneinheitliche Korrelationen. Die Probenzahlen waren teilweise nicht ausreichend.

Die Regressionsberechnungen getrennt nach erstem und zweitem Aufwuchs bzw. nach Nutzungsintensität ergaben keine engeren Korrelationen als für die Gesamtheit der Einzelpflanzen (nicht dargestellt).

Die ausgewählten Regressionsberechnungen für die einzelnen Pflanzenarten sind in Tabelle 37 veranschaulicht.

Für Glatthafer und Weißklee besteht eine engere Korrelation zwischen ADF und dem Energiegehalt. Die engste Korrelation besteht für ADL, Xyl:Ara- und ADL:Gesamtlinnin Verhältnis bei Deutschem Weidelgras, allerdings ist die Verteilung der Pflanzen auf der Nutzungsvariante ungleichmäßig (wenige Daten auf der Nutzung C, s. Tabelle 29).

Ohne Berücksichtigung von Deutschem Weidelgras liegt die beste Korrelation für ADL bei Wiesenlieschgras vor.

Für Wiesenlieschgras besteht die engste Korrelation zwischen dem Verhältnis von Xyl:Ara bzw. von ADL:Gesamtlinnin und dem Energiegehalt (HFT). Da nur eine geringe Datenanzahl ( $n = 5$ ) vorliegt, ist die Beurteilung nicht möglich.

Tabelle 37: Einfache lineare Regression der Einzelpflanzen: der Zusammenhang zwischen geschätzter ME und Zellwandbestandteilen

lineare Funktion	adj.R²	Signifikanz	n	Pflanzenart
Y = ME (HFT) =				
20,02 – 0,04 ADF	<b>0,50</b>	***	18	<b>Deutsches Weidelgras</b>
12,71 – 0,11 ADL	<b>0,85</b>	***	18	
16,01 – 1,65 Xyl:Ara	<b>0,91</b>	***	11	
12,81 – 13,55	<b>0,90</b>	***	11	
ADL:Gesamtlinnin				
16,58 – 0,02 ADF	<b>0,60</b>	***	20	<b>Wiesenrispe</b>
11,47 – 0,07 ADL	<b>0,56</b>	***	20	
13,55 – 1,13 Xyl:Ara	<b>0,59</b>	***	12	
11,71 – 9,73	<b>0,60</b>	**	12	
ADL:Gesamtlinnin				
16,07 – 0,02 ADF	<b>0,53</b>	**	11	<b>Rotschwingel</b>
10,62 – 0,06 ADL	<b>0,44</b>	*	11	
13,04 – 0,90 Xyl:Ara	<b>0,24</b>	n. s.	9	
11,08 – 7,62	<b>0,63</b>	**	9	
ADL:Gesamtlinnin				
18,14 – 0,03 ADF	<b>0,33</b>	*	11	<b>Wiesenlieschgras</b>
12,85 – 0,09 ADL	<b>0,86</b>	***	11	
14,52 – 1,43 Xyl:Ara	<b>0,80</b>	*	5	
13,95 – 13,78	<b>0,84</b>	*	5	
ADL:Gesamtlinnin				
13,00 – 0,01 ADF	<b>0,14</b>	n. s.	12	<b>Rohrschwingel</b>
10,95 – 0,09 ADL	<b>0,65</b>	***	12	
Xyl:Ara	-	-	6	
10,87 – 9,16	<b>0,71</b>	*	6	
ADL:Gesamtlinnin				
20,04 – 0,03 ADF	<b>0,78</b>	***	9	<b>Glatthafer</b>
11,54 – 0,08 ADL	<b>0,48</b>	*	9	
12,73 – 0,93 Xyl:Ara	<b>0,65</b>	*	6	
11,03 – 7,60 Xyl:Ara	<b>0,36</b>	n. s.	6	
ADL:Gesamtlinnin				
13,58 – 0,01 ADF	<b>0,80</b>	***	28	<b>Weißklee</b>
11,72 – 0,02 ADL	<b>0,32</b>	**	28	
11,48 – 0,98 Xyl:Ara	<b>0,69</b>	*	7	
11,46 – 3,62	<b>0,14</b>	n. s.	7	
ADL:Gesamtlinnin				

- keine Korrelation; \* p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001; ADF: Säure-Detergentien-Faser; ADL: Säure-Detergentien-Lignin; Xyl: Xylose; Ara: Arabinose; ME (HFT): geschätzte Umsetzbare Energie nach HFT-Formel.

## 5 Diskussion

### 5.1 Chemische Zusammensetzung der Pflanzenbestände

Um die Zusammenhänge zwischen der chemischen Zusammensetzung von Pflanzenbeständen und der Verdaulichkeit der organischen Substanz zu erfassen, ist es notwendig Pflanzenmaterial zu prüfen, das eine große Schwankungsbreite bei den Gehaltswerten aufweist.

Bei den eigenen Untersuchungen handelte es sich um Pflanzenbestände aus 3 Versuchsjahren mit 3 unterschiedlichen Nutzungsarten und vom 1. bzw. 2. Schnitt. Diese Proben wurden aus 3 Flächen mit unterschiedlicher Pflanzenzusammensetzung gewonnen. Damit war gesichert, daß das untersuchte Probenmaterial ein breites Spektrum der chemischen Zusammensetzung aufweisen konnte.

Zur Auswertung des Datenmaterials wurde mathematische Modelle benutzt, die verschiedenen Einflussfaktoren berücksichtigten. Die Einflussfaktoren waren das Erntejahr (1996, 1997, 1998), der Pflanzenbestand (Fläche 5, 6 und 7), die Nutzungsart (A, B und C) und der Schnitt (1. und 2.).

Mit der Variablen Jahr wird im wesentlichen der Einfluss der Witterung erfasst, aber auch die veränderte Pflanzenzusammensetzung im Versuchsverlauf.

Die 3 Versuchsflächen entsprachen in ihrer Pflanzenzusammensetzung Untergras betonten Beständen (Fläche 5), Obergras betonten Beständen (Fläche 7) und einem Mischbestand (Fläche 6).

Auf der Fläche 5 wuchsen Wiesenrispe (*Poa pratensis*), Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*), Rotschwingel (*Festuca rubra*) und Weißklee (*Trifolium repens*) als Hauptbestandsbildner.

Die Hauptbestandsbildner der Fläche 6 waren Wiesenlieschgras (*Phleum pratense*), Wiesenrispe (*Poa pratensis*), Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*), Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*) und Weißklee (*Trifolium repens*). Auf Fläche 7 dominierte Rohrschwingel (*Festuca arundinacea*).

Für die Bestände im 1. Schnitt ergaben sich für die Nutzungsvariante A und B im Vergleich zur Nutzung C signifikante Unterschiede bei der Weender Analyse.

Der Rohasche- und Rohproteingehalt sind bei der Nutzung C signifikant niedriger und der Rohfasergehalt signifikant höher.

Die Ursache für chemische Zusammensetzung bei der Nutzung C ist durch den späten Nutzungstermin und damit verbundenen hohen Reifegraden begründet. Als durchschnittlichen Reifegrad bei der Nutzung C ermittelten wir 4,5, das entspricht "volle Blüte".

Der von uns ermittelte durchschnittliche Rohfasergehalt von 308 g/kg TS entspricht den in den Tabellen (DLG, 1997) für ein vergleichbarer Nutzungsregimes angegebene Werten von 288 - 312 g/kg TS.

Der Zusammenhang zwischen dem Pflanzenalter und Rohfasergehalt ist allgemein bekannt u. a. von verschiedenen Autoren WOLF und BRIEMLE (1989), KITTMANN und DYCKMANS (1990), SÜDEKUM et al. (1990), TAUBE et al. (1990), NEFF (1991), SPATZ und FRICKE (1992), KÄDING et al. (1993), HOCHBERG et al. (1994) nachgewiesen worden.

Hinsichtlich der Nutzungsintensität unterscheiden sich die Nutzungsformen A und B nicht. Der Unterschied besteht in der fehlenden Stickstoffdüngung bei der Nutzung B.

Die chemische Zusammensetzung zwischen der Nutzung A und B ergab für die Bestandteile der Weender Analyse keine signifikanten Unterschiede.

Die fehlende N-Düngung wirkt sich bei gleicher Nutzungsintensität durch eine verzögerte Reife aus und hat keinen Einfluß auf den Rohfasergehalt (DYCKMANS, 1989; BISCHOFF und ADOLF, 1992).

Im vorliegenden Versuch wurden die Bestände der Nutzung B durchschnittlich eine Woche später geerntet als die der Nutzung A. Somit waren identische Reifegrade erwartet worden. Die bestimmten Werte lagen für die Nutzung A im Durchschnitt bei 2,1 und bei der Nutzung B bei 2,4.

Dass trotz dieser Unterschiede der Rohfasergehalt nahezu gleich war, ist in der Steigerung des Weißkleeanteils bei der Nutzung B im Vergleich zu A begründet. Das Verhältnis des durchschnittlichen Kleeanteils von B zu A liegt bei 3:1.

In der Arbeit von WINKLER und NÖSBERGER (1985), sowie bei KÄDING et al. (1993) waren im häufig geschnittenen Bestand ohne Stickstoffgabe die Wachstumsbedingungen für den Weißklee optimal. Die Erhöhung der Schnitthäufigkeit verbessert die Strahlungsbedingungen im Lebensraum des Weißklee. Stickstoffdüngung hingegen fördert das Wachstum von Gräsern und Kräutern, die den Weißklee rasch beschatten.

Der in der Literatur beschriebene Anstieg des Rohproteingehaltes mit Stickstoffgabe (DANIEL und SIMON, 1981; VOIGTLÄNDER und MÄDEL, 1981; WULFES et al., 1991; KÄDING et al., 1991, 1993; GIEBELHAUSEN und RICHTER, 1995) wurde in unseren Untersuchungen nicht gefunden.

Ein Vergleich des Rohproteingehaltes bei A mit den Tabellenwerten (DLG, 1997) bei entsprechendem Reifegrad ergab für den Rohproteingehalt einen um 50 g/kg TS niedrigeren Wert. Ein Grund dafür ist, dass die Pflanzenbestände der Nutzung A aus Unter- und Obergräser bestanden, während die angegebenen Grünfütter der Tabellenwerten untergrasbetont sind. Andererseits sind die Pflanzen bei Nutzung A zum Teil mit höher Reifegrade verbunden.

Die von uns für diese Nutzung eingeschätzten Reifegrade unterlagen sehr starken Schwankungen (0 bis V). Die Erntetermine waren in den 3 Versuchsjahren für die Nutzung A identisch, so daß die unterschiedliche Reife durch die Witterung begründet sein muss.

Die Vegetation des Jahres 1996 begann wesentlich später (05. April) als die der Jahre 1997 (20. Februar) bzw. 1998 (09. Februar). So befanden sich die Pflanzen im ersten Jahr in niedrigerem Reifestadium (0 bis II) bei einer Wuchsdauer von durchschnittlich 52 Tagen und in den anderen Jahren 0 bis V für den ersten Aufwuchs mit einer Wuchsdauer von 98 Tagen.

Durch den unterschiedlichen Vegetationsbeginns in den drei Jahren ist die Wuchszeit der Pflanzen bei der Nutzung A nur gering mit der Reife zur Ernte korreliert. Der Korrelationskoeffizient beträgt  $R^2 = 0,46$ .

Beim 2. Schnitt bestehen weder in Abhängigkeit von der Nutzung noch zur Bestandszusammensetzung oder dem Jahr Unterschiede der Rohfasergehalte.

Obwohl die Wiederaufwuchszeiten in der Reihenfolge der Nutzung 46, 60 bzw. 88 Tage betrugen, wurden gleiche Reifegrade ermittelt.

Die Diskrepanz zwischen der Wiederaufwuchszeit und Reifegrade zeigt sich in der fehlenden Korrelation beim 2. Schnitt im Gegensatz zum 1. Schnitt, wie in Abb. 26 dargestellt ist. Nach unseren Ergebnissen ist auch für den 2. Schnitt die Beachtung der Reifegrade von größerer Bedeutung als die Wiederaufwuchszeiten.

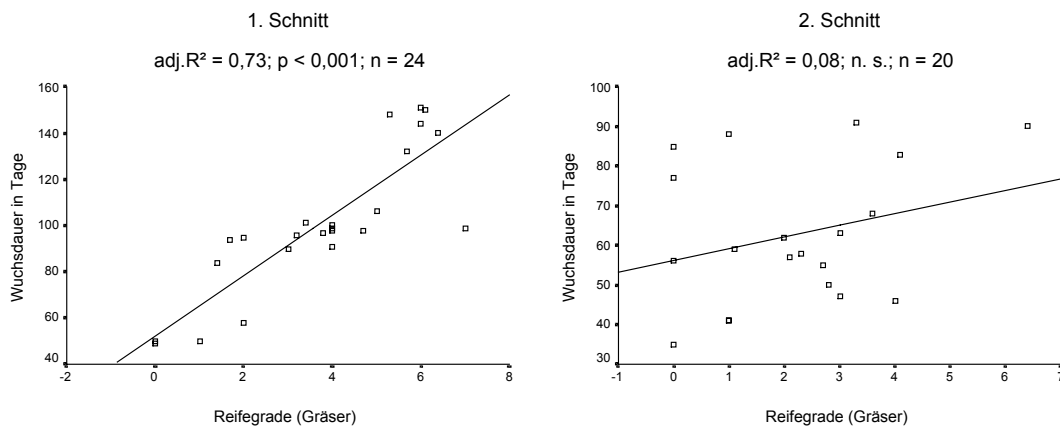


Abbildung 26: Korrelation zwischen der Aufwuchsdauer und den Reifegraden

Die Faseranalytik nach VAN SOEST ergibt für die Bestände im 1. Schnitt in Abhängigkeit von der Nutzung für alle Parameter und in Abhängigkeit vom Jahr für die Hemicellulosegehalte signifikante Differenzen.

Die Witterungsverhältnisse im Jahr 1997 waren für den Wuchszeitraum März bis Mai im Vergleich zu den Jahren 1996 bzw. 1998 geprägt durch geringere Temperatur und ausgeglichene Regenfälle. Der Vegetationsbeginn setzte jedoch früher ein als im Jahr 1996. So waren die Wuchsbedingungen für die Gräser trotz früheren Wuchsbeginn im Verlauf der Vegetation durch geringere Temperatur verzögert.

Die verschiedenen Zellwandbestandteile werden im Verlaufe des Wachstums zu unterschiedlichen Reifestadien synthetisiert. Wie TERASHIMA et al. (1993) nachwiesen, setzt das Wachstum der Hemicellulosen später ein als das Cellulosewachstum. Durch das verlangsamte Wachstum infolge der Witterung im Jahre 1997 ist der von uns gefundene niedrigere Hemicellulosegehalt erklärbar.

Der ADF- und Cellulosegehalt ist für die Nutzung A und B gleich und signifikant niedriger als bei C, das entspricht dem Zusammenhang zwischen dem Reifegrad und dem Rohfasergehalt. Dem gleichen Zusammenhang folgt der ADL-Gehalt mit einer Steigerung von über 100 % bei C. Im Gegensatz dazu ist der Hemicellulosegehalt bei B signifikant niedriger als bei A und C. Letztere zeigen identische Hemicellulosegehalte. Der geringere Hemicellulosegehalt bei B steht im engeren Zusammenhang mit dem gesteigerten Weißkleeanteil. Weißklee hat im Vergleich zu den Gräsern einen um 35 % geringeren Cellulose- und um 73 % verringerten Hemicelluloseanteil. Der nahezu gleiche Kleeanteil bei der Nutzung C führt durch den höheren Reifegrad bei dieser Nutzung zu einem Ausgleich des Hemicellulosegehaltes im Vergleich zu der Nutzung A.



Wie sich ein wechselnder Kleeanteil im Bestand auf die chemische Zusammensetzung auswirkt, zeigt Tabelle 38. Ausgehend von den aus den eigenen Untersuchungen ermittelten Gehaltswerten der Einzelpflanzen und von Weißklee im 1. und 2. Schnitt wurden für eine Bestandszusammensetzung von 80 und 20 % Weißklee bzw. 60 und 40 % die theoretisch erhaltenen Werte kalkuliert. Für die Gräser ist der durchschnittliche Wert aller Einzelgräser angegeben.

Ein Anteil von 10 bis 20 % Weißklee lag bei unseren Untersuchungen auf Beständen der Fläche 5 (A1.96, B2.96, C2.97), der Fläche 6 (A1.96, A1.97, A2.97, B2.96, B1.97, B2.97, B2.98) und der Fläche 7 (B2.98, C1.97) vor. Das sind insgesamt 12 Proben oder 27 %. Ein Weißkleeanteil von > 35 % wurde auf Beständen der Fläche 5 (B1.97, B2.97 und C2.96) gefunden. Das entspricht 6,8 % der Proben.

Steigt der Weißkleeanteil in den Gräserbeständen bis 40 % an, so nimmt der Rohproteingehalt um ca. 30 % zu und sinkt gleichzeitig der Rohfasergehalt um 14 %.

Durch die Zunahme des Weißkleeanteils im Bestand sinkt der Hemicellulose- bzw. Cellulose-Gehalt. Besonders stark ist die Senkung des Gehaltes an Hemicellulosen. Beim Kleeanteil von 40 % nimmt der Hemicellulose- Gehalt um 33 % im 1. Schnitt und um 31 % im 2. Schnitt ab. Dies führt zu einer Zunahme der Energiewerte (ME XF) um 7 % Punkte. Nach den vorliegenden Ergebnissen hat der Weißkleeanteil in den Gräserbeständen einen stärkeren Einfluss auf die chemische Zusammensetzung als auf den Energiewert.

Ebenso ist die Steigerung des Ligningehaltes durch den Kleeanteil in den Beständen deutlich zu erkennen. Mit einem Weißkleeanteil von 40 % nimmt der Gehalt an Lignin um 16 % zu. Zahlreiche Autoren wie SCHALITZ und PÖTZSCH (1990) LEX und SIMON (1995), SÜDEKUM et al. (1990) haben bestätigt, dass die Beisat von Weißklee den Rohproteingehalt sowie die Verdaulichkeit verbessert und gleichzeitig den Rohfasergehalt senkt. Außerdem führt die Entstehung kleereicher Pflanzenbestände zu einer höheren Nutzungselastizität, die selbst bei extensiver bzw. späterer Wiesennutzung die Ernte einer vergleichsweise guten Futterqualität zulässt (VERCH und KÜHBAUCH, 1994).

Die Erhöhung des Kleeanteils im 2. Schnitt ergibt wesentlich geringere Veränderung im Faser- und Energiegehalt, allerdings ist die Steigerung des Ligningehaltes wesentlich stärker ausgeprägt.

Neben dem ADL-Gehalt wurde der Gehalt an säurelöslichem Lignin bestimmt und aus der Summe der ADL und säurelöslichem Lignin der Gesamtlignin-Gehalt berechnet.

ADL der Monokotyledone wird hauptsächlich aus der p-Cumarylalkohol gebildet und bei den Dikotyledone aus den Coniferylalkohol und Sinapylalkohol synthetisiert (HARKIN, 1973).

Die Synthese von p-Cumarylalkohol wird in einem relativ frühen Stadium der Zellwandsynthese eingestellt (TERASHIMA, et al., 1993). So wird die ADL-Synthese offensichtlich durch die Verfügbarkeit von Monomeren in der Zellwand begrenzt (MOHR und SCHOPFER, 1992). Das bedeutet, daß der Gesamtlignin-Gehalt der Gräser das Ligninbildungspotential darstellt. Bei unseren Untersuchungen betrug der Gehalt aus Gesamtlignin in Abhängigkeit von der Pflanzenart zwischen 110 und 130 g/kg TS und wies keine signifikanten Unterschiede auf. Die Synthese der Monomere für die Leguminosen finden

Tabelle 38: Einfluss des Weißkleeanteils auf die chemische Zusammensetzung und umsetzbare Energie der Gräserbestände [Kalkulation aus den gemessenen Gehaltswerten (Mittelwerte aller Messungen) für Gräser und Weißklee]

Pflanzen	n	XA	XP	XF	ADF g/kg TS	ADL	Hemi- cellulo se	Cellu- lose	ME XF MJ/kg TS
<b>1. Schnitt:</b>									
Mittelwert, 100 % Gräser:	6	69	102	296	325	32	267	293	9,8
Mittelwert, 100 % Weißklee:	13	97	207	190	235	47	45	187	11,5
Mittelwert, <b>80 % Gräser und 20 % Weißklee:</b>		75	123	275	307	35	223	271	10,2
prozentuale Berechnung im Vergleich zu 100 % Gräsern:		10 9	121	93	94	109	84	93	104
Mittelwert, <b>60 % Gräser und 40 % Weißklee:</b>		80	144	254	289	38	178	251	10,5
prozentuale Berechnung im Vergleich zu 100 % Gräsern:		11 6	141	86	89	119	67	86	107
<b>2. Schnitt:</b>									
Mittelwert, 100 % Gräser:	7	72	105	266	296	28	280	268	10,1
Mittelwert, 100 % Weißklee:	15	90	196	194	261	71	59	189	10,7
Mittelwert, <b>80 % Gräser und 20 % Weißklee:</b>		76	123	252	289	37	236	252	10,2
prozentuale Berechnung im Vergleich zu 100 % Gräsern:		10 6	117	95	98	132	84	94	101
Mittelwert, <b>60 % Gräser und 40 % Weißklee:</b>		79	141	238	282	45	192	237	10,3
prozentuale Berechnung im Vergleich zu 100 % Gräsern:		11 0	134	89	95	161	69	88	102

XA: Rohasche; XP: Rohprotein; XF: Rohfaser; ADF: Säure-Detergentien-Faser; ADL: Säure-Detergentien-Lignin; Hemi.: Hemicellulosen; Cell.: Cellulose; ME XF: geschätzte Umsetzbare Energie nach Rohnährstoffgleichungen.

während des gesamten Wachstums statt. Aus dem Grund sind sowohl der ADL- als auch der Gesamtlignin-Gehalt bei Weißklee signifikant höher als bei den Gräsern.

Die Unterschiede im ADL-Gehalt sind im Zusammenhang mit dem Reifegrad der Bestände und dem Kleeanteil zu betrachten.

Der erwartete enge Zusammenhang zwischen dem Gehalt an Xylose und Arabinose in Abhängigkeit von der Nutzung konnte bei unseren Versuchen nicht nachgewiesen werden.

Trotz durchschnittlich hohem Reifegrad bei der Nutzung C, der mit einer Erhöhung des Xylosegehaltes einhergehen soll (LINDGREN et al., 1980; BRICE und MORRISON, 1982; NANDRA et al., 1983; BURRITT et al., 1984), wurden im Vergleich zur Nutzung A keine signifikanten Unterschiede gefunden. Ursache dafür ist der gesteigerte Kleeanteil bei der Nutzung C mit einem geringen Xylosegehalt, der durchschnittlich nur 22 % des Gehaltes der Gräser beträgt. Weiterhin führt die Verzögerung des 1. Schnittes der extensiven Nutzung C zu einem mehr oder weniger stark ausgeprägten Unterwuchs von jungen Gräsern und Leguminosen. So ist in der Erntemasse neben physiologisch altem Pflanzenmaterial auch sehr junges, blattreiches Material vorhanden.

Die gleiche Zusammenhänge existieren auch für die Gehalte an phenolischen Säuren. Weißklee hat durchschnittlich 92 bzw. 76 % geringeren pCA bzw. FA als die Gräser.

Der pCA-Gehalt der Einzelpflanzen lag zwischen 1,6 g/kg TS bei Wiesenlieschgras und 3,2 g/kg TS bei Glatthafer. Der Gehalt an FA schwankt zwischen 2,1 g/kg TS bei Wiesenlieschgras und 3,4 g/kg TS bei Wiesenrispe. Vergleichbare Ergebnisse fanden JUNG und FAHEY (1983a) für Smooth brome grass (pCA: 1,4 g/kg TS und FA: 1,91 g/kg TS). Für Italian ryegrass liegt der Gehalt an FA höher 6,4 g/kg TS.

Wie die Tabellen 31 und 38 zeigen, bildet Weißklee einen deutlich höheren Gehalt an ADL als Gräser. Da pCA und FA die Verbindungsglieder zwischen Lignin und den Kohlenhydraten im Kohlenhydrat-Lignin-Komplex darstellen, bedeutet die geringe Konzentration einen niedrigen Vernetzungsgrad. So hat der hohe ADL-Gehalt keine negative Auswirkung auf den Abbau der Zellwände.

Für die Einzelpflanzen der vorliegenden Untersuchungen zeigen Glatthafer und Wiesenrispe sowie Wiesenlieschgras starke Qualitätseinbußen mit der Reife. Bei diesen Pflanzen unterliegen die Gehaltswerte den stärksten Schwankungen. Glatthafer hat insgesamt einen niedrigen Rohprotein- und hohen Fasergehalt und wird als weniger wertvolles Gras eingestuft. Wiesenrispe als wertvolles Futtergras mit hohem Rohprotein und geringem Fasergehalt bei intensiver Nutzung unterliegt starken Qualitätseinbußen bei Extensivierung.

Bei den anderen Pflanzen sind die Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung in Abhängigkeit von der Nutzung geringer, was auf eine verminderte Qualitätseinbuße bei geringerer Nutzungsintensität hindeutet.

## 5.2 In vivo-Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und der Zellwandbestandteile

Die in vivo Verdaulichkeitswerte der Rohnährstoffe und der Zellwandbestandteile sind vom Erntejahr, Bestand und der Nutzungsintensität beeinflusst.

Zur Schätzung des Energiegehaltes ist die Anwendung der Rohnährstoffgleichung für Bestände mit später erster Nutzung und zwei Schnitt-Nutzung nicht geeignet (GfE, 1998). Diese Bestände sind durch eine geringe Verdaulichkeit der OS ( $VQ_{OS} < 60\%$ ) charakterisiert. Um die Eignung anderer Schätzparameter zu prüfen, sollten im geprüften Probenspektrum auch solche Bestände enthalten sein, die mittels Rohnährstoffgleichung nicht exakt schätzbar sind.

In der extensiven Nutzungsvariante C1 liegen mittlere Verdaulichkeitswerte der organischen Substanz von durchschnittlich 60 % vor.

Bei Betrachtung der Ergebnisse der in vivo Verdaulichkeitsuntersuchungen haben für den 1. Schnitt aller geprüften Einflussfaktoren eine signifikante Wirkung.

Die in vivo-Verdaulichkeit auf Fläche 7 ist signifikant niedriger als auf Fläche 5 und 6.

Der Unterschied der in vivo-Verdaulichkeit ist zurückzuführen auf die unterschiedlichen Gräser und verschiedenen Weißkleeanteil auf den Flächen. Fläche 7 enthält hauptsächlich Rohrschwingel, daß als Obergras einen hohen Stengelanteil aufweist.

Die geringere Verdaulichkeit von Stengeln gegenüber Blättern wurde u.a. von HIRST et al. (1959), DAUGHTRY et al. (1978), BRICE und MORRISON (1982), WILMAN und ALTIMIMI (1982) beschrieben.

Obwohl auf Fläche 5 der Anteil an hochwertigen Gräsern und an Weißklee höher war als auf Fläche 6, zeigen sich keine Unterschiede in der Verdaulichkeit, d. h., daß bei Nutzung von guten Futtergräsern die Verdaulichkeit Unterschiede aufweist.

Der frühe Vegetationsbeginn (im Vergleich zu 1996) und die erhöhte Temperatur (im Vergleich zu 1997) im 3. Versuchsjahr führt zu einer Verringerung der Verdaulichkeit der Weender Rohnährstoffe. In den vorliegenden Untersuchungen hat das Nutzungsregime eine starke Wirkung auf die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und auf die Zellwandverdaulichkeit. Sie ist bei der extensiven Nutzung C beim 1. Schnitt am niedrigsten.

Ursache dafür ist die chemische Zusammensetzung der Bestände, wie KITTMANN und DYCKMANS (1990), SÜDEKUM et al. (1990), JILG und BRIEMLE (1993), KÄDING et al. (1993), HOCHBERG et al. (1994), RODEHUTSCORD et al. (1994), SÜDEKUM und SCHRÖDER (1995) nachgewiesen haben.

Der erhöhte Rohfasergehalt resultiert aus dem hohen Reifegrad, der durch eine Erhöhung der Zellwandgehalte und einer Verschiebung des Blatt:Stengel- Verhältnisses resultiert (HIRST et al., 1959; WAITE und GORROD, 1959; MORRIS, 1980).

Für den Reifegrad ist die Nutzungshäufigkeit von Bedeutung. Zahlreiche Autoren KÄDING und KREIL (1990), KÜHBAUCH et al. (1991), KÄDING et al. (1993), LEX und SIMON (1995), GRUBER et al. (1997) haben nachgewiesen, daß mit steigender Nutzungshäufigkeit die Verdaulichkeit und Energiekonzentration zunahm.

Im Gegensatz zur chemischen Zusammensetzung weist die Verdaulichkeit der organischen Substanz, der Rohfaser und in der Tendenz des Rohprotein einen Zusammenhang zur Aufwuchsdauer der Bestände auf, wie die Abhängigkeit von der Nutzung im 2. Schnitt zeigen.

Die Hauptursache für die schlechte Verdaulichkeit ist nicht nur der Gehalt an Lignin oder ADF und anderer Zellwandbestandteile, sondern auch die Bindungen zu phenolischen Säuren (pCA und FA).

Wie die vorliegenden Ergebnisse zeigen, weist die extensive Nutzung C beim 1. Schnitt den höchsten Gehalt an Lignin auf.

Lignin hemmt die Verdaulichkeit von Futtermitteln dadurch, dass den Mikroben im Pansen der Angriff auf die Zellwandkohlenhydrate erschwert wird. Das geschieht einerseits durch die Inkrustierung des polymeren Lignins und andererseits durch die Bindung von Lignin an die Kohlenhydrate (vor allem an die Hemicellulosen) über die phenolischen Säuren. (VAN SOEST, 1983).

Der Bestand C1 enthält außerdem höheres Xylose:Arabinose Verhältnis im Vergleich zu anderen Beständen. MORRIS und BACON (1976) haben nachgewiesen, daß ein hohes Xylose:Arabinose Verhältnis dem hohen Grad der Polymerisation mit geringer Bindung mit anderen Monosaccharidebestandteilen entspricht und die Futterpflanzen mit niedriger Verdaulichkeit charakterisiert.

### **5.3 Beziehung zwischen den Zellwandbestandteilen und der in vivo-Verdaulichkeit der organischen Substanz**

Unser Ziel bestand darin zu prüfen, ob die von uns gemessenen Parameter Hemicellulosebestandteile (Xylose und Arabinose) bzw. phenolische Säuren (p-Cumarsäure und Ferulasäure) über ein breites Spektrum der Nutzung von Grünlandbeständen eine engere Beziehungen zur Verdaulichkeit der organischen Substanz haben als die Rohfasergehalte. Auch die Faserfraktionen NDF, ADF bzw. ADL wurden in die Regressionsberechnungen einbezogen, um Aussagen zur Korrelation dieser Parameter zu unseren Proben mit Literaturwerten vergleichen zu können.

Zum Vergleich mit den vorliegenden Ergebnissen zeigt die Tabelle 39 die Korrelation von chemischen Zusammensetzungen der Zellwandkohlenhydratbestandteile und der Verdaulichkeit der organischen Substanz bzw. Trockensubstanz von verschiedenen Autoren.

Tabelle 39: Korrelation von chemisch-analytischen Parametern und in vivo- bzw. in vitro-Verdaulichkeit der organischen Substanz

Probenmaterial	Parameter	R <sup>2</sup>	Autoren
• Deutsches Weidelgras und Weißklee	Rohfaser	<b>0,57</b>	SÜDEKUM et al., 1990
• Gräser (Perennial ryegrass, Cocksfoot und Timothy)	Rohfaser	<b>0,81</b>	JONES, 1970*
• Gräser (Russian wildrye, Smooth brome grass und Reed canary grass)	NDF	<b>0,71</b>	BURRITT et al., 1985*
• Weidelgras ( <i>Lolium perenne</i> L x L multiflorum Lam)	NDF	<b>0,94</b>	FALES et al., 1991*
• Deutsches Weidelgras und Weißklee	ADF	<b>0,66</b>	SÜDEKUM et al., 1990
• Gräser (Russian wildrye, Smooth brome grass und Reed canary grass)	ADF	<b>0,86</b>	BURRITT et al., 1985*
• Gräser und Leguminosen	ADF	<b>0,56</b>	VAN SOEST, 1983
• Gräser (Perennial ryegrass, Cocksfoot und Timothy)	ADL	<b>0,86</b>	JONES, 1970*
• Gräser (Russian wildrye, Smooth brome grass und Reed canary grass)	ADL	<b>0,83</b>	BURRITT et al., 1985*
• Gräser und Leguminosen	ADL	<b>0,37</b>	VAN SOEST, 1983
• Pangola Gras, junge Blätter	ADL	<b>0,99</b>	FORD, 1978*
• Weidelgras ( <i>Lolium perenne</i> L x L multiflorum Lam)	ADL	<b>0,90</b>	FALES et al., 1991*
• Ladino Klee	ADL	<b>0,83</b>	SMITH et al., 1972**
• Rotklee	ADL	<b>0,06</b>	SMITH et al., 1972**
• Bluegrass	ADL	<b>0,92</b>	SMITH et al., 1972**
• Leguminosen (Ladino Klee, Rotklee u. a.)	ADL	<b>0,37</b>	SMITH et al., 1972**
• Gräser (Bluegrass, Orchardgrass u. a.)	ADL	<b>0,67</b>	SMITH et al., 1972**
• Gräser und Leguminosen	ADL	<b>0,22</b>	SMITH et al., 1972**
• Heu	ADL:ADF	<b>0,36</b>	SMITH et al., 1970**
• Gräser sowie Leguminosen	ADL:ADF	<b>0,96</b>	VAN SOEST, 1983**
• Leguminose (Ladino Klee, Rotklee u. a.)	ADL:Cellulose	<b>0,19</b>	SMITH et al., 1972**
• Gräser (Bluegrass, Orchardgrass u. a.)	ADL:Cellulose	<b>0,69</b>	SMITH et al., 1972**
• Gräser und Leguminosen	ADL:Cellulose	<b>0,03</b>	SMITH et al., 1972**
• Deutsches Weidelgras und Weißklee	Xylose	<b>0,57</b>	SÜDEKUM et al., 1990
• Gräser (Russian wildrye, Smooth brome grass und Reed canary grass)	Xylose	<b>0,72</b>	BURRITT et al., 1984*, 1985*
	Arabinose	<b>0,22</b>	
• Teff ( <i>Eragrostis tef</i> )	Arabinose	<b>0,88</b>	MORRIS, 1980**
	Xyl:Ara	<b>0,88</b>	
• Gräser (Russian wildrye, Smooth brome grass und Reed canary grass)	p-Cumarsäure	<b>0,74</b>	BURRITT et al., 1984*
• Knaulgras ( <i>Dactylis glomerata</i> )	p-Cumarsäure	<b>0,55</b>	FALES et al., 1991*
• Weidelgras ( <i>Lolium perenne</i> L x L multiflorum Lam)	p-Cumarsäure	<b>0,96</b>	FALES et al., 1991*
• Gräser (Russian wildrye, Smooth brome grass und Reed canary grass)	pCA:FA	<b>0,71</b>	BURRITT et al., 1984*
• Perennial ryegrass	FA:pCA	<b>0,96</b>	HARTLEY, 1972**

\* Korrelation mit in vitro-Verdaulichkeit der Trockensubstanz; \*\* mit Zellwandverdaulichkeit

Da die Xylose als Hemicellulosebestandteil während der Reife der Gräser die stärksten Konzentrationsveränderungen erfährt und als Kohlenhydratmonomer die geringste Verdaulichkeit per se besitzt, (GAILLARD, 1962; LINDGREN et al., 1980; BRICE und MORRISON, 1982; NANDRA, 1983; GOTO, 1991) wurde die Xylose als Parameter von uns ausgewählt. Auch wird das Xylose:Arabinose Verhältnis in Gräsern mit wachsender Reife und damit sinkender Verdaulichkeit diskutiert (MORRIS und BACON, 1976; MORRISON, 1983; BOURQUIN et al., 1990; VAN SOEST, 1994).

Die Xylosegehalte zeigten in unseren Untersuchungen keine Korrelation zur in vivo Verdaulichkeit der organischen Substanz für die Probengesamtheit, den 2. Schnitt und die unterschiedlichen Nutzungsvarianten. Eine schwache Korrelation bestand mit  $\text{adj.}R^2 = 0,32$  für den ersten Schnitt.

Vergleichbare Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Xylosegehalten und der in vivo Verdaulichkeit stellten lediglich SÜDEKUM et al. (1990) an. Sie fanden bei Beständen aus Deutschem Weidelgras mit Kleeanteilen von 10 bzw. 35 % eine Korrelation von  $R^2 = 0,57$ . Der höhere Kleeanteil von 35 % verringerte den Xylosegehalt im Gesamtbestand im Vergleich zum Grasbestand um 25 %. Dieser Wert entspricht auch dem von uns gefundenen Einfluss des Kleeanteils auf den Xylosegehalt. Die von SÜDEKUM et al. ermittelte höhere Korrelation kann durch den unterschiedlichen Xylosegehalt verschiedener Gräser begründet sein. Deutsches Weidelgras hatte bei unseren Untersuchungen ein um 26 % geringeren Gehalt an Xylose als die anderen Gräser. Damit ist der Kleeinfluss auf den Xylosegehalt für Weidelgrasbestände niedriger als bei anderen Beständen.

Die in der Tabelle 39 zitierte Korrelationsberechnung (BURRITT et al., 1984, 1985) wurde mit reinen Gräserbeständen durchgeführt. Bei dieser Untersuchung diente als abhängige Variable die in vitro- Verdaulichkeit der Trockensubstanz. Somit ist die von BURRITT et al. gefundene höhere Korrelation erwartet, aber nicht direkt mit unseren Ergebnissen vergleichbar.

Da die Nutzungsvarianten B und C höhere Kleeanteile bilden als bei intensiver Nutzung ist die Anwendung der Xylosegehalte in Schätzgleichungen für diese Bestände nicht möglich.

In den vorliegenden Ergebnissen besteht eine schwache Korrelation zwischen der in vivo Verdaulichkeit der organischen Substanz und dem Xylose:Arabinose- Verhältnis für die Probengesamtheit ( $\text{adj.}R^2 = 0,24$ ), dem 1. Schnitt ( $\text{adj.}R^2 = 0,53$ ) und der Nutzung C ( $\text{adj.}R^2 = 0,40$ ). Diese Korrelation fehlt für den 2. Schnitt sowie für die Nutzung A und B.

MORRIS (1980) fand eine enge Korrelation ( $R^2 = 0,88$ ) zwischen dem Verhältnis Xylose:Arabinose und der Zellwandverdaulichkeit. Das Xylose:Arabinose- Verhältnis liegt hier zwischen 4,3 und 7,3 etwas höher als das bei unseren Versuchen (2,8-5,4). Die erzielte enge Korrelation von MORRIS (1980) ist mit unseren Daten nicht vergleichbar, da es sich um Einzelpflanzen Teff-Stroh (*Eragrostis tef*) handelte und außerdem die Probe nach Stengeln und Blättern getrennt sortiert wurde.

Die Veränderungen der Futterqualität von Rauhfutter sind eng mit phenolischen Verbindungen (AKIN et al., 1992) bzw. mit den Lignin-Kohlenhydrat-Komplexen (JUNG und RALPH, 1990; CORNU et al., 1994) verbunden. Nicht der Gehalt an Lignin wird als beschränkend für die Verdaulichkeit der Faser betrachtet, sondern der Grad der Verknüpfung des Lignins mit den Zellwandbestandteilen. Die Verbindung oder Inkrustierung des Lignins ist durch kovalente Bindungen zwischen Lignin, phenolischen Säuren und der Kohlenhydratkomponente Hemicellulosen gegeben. p-Cumarsäure und Ferulasäure stellen das Verbindungsglied zwischen dem Lignin und den Kohlenhydraten im Lignin-Kohlenhydrat-Komplex dar. Eine enge Beziehung besteht zwischen dem Ligningehalt und den pCA-Ester- bzw. phenolischen Monomeren-Etherverbindungen (JUNG und VOGEL, 1992; JUNG und BUXTON, 1994). Durch die enge Verknüpfung der phenolischen Monomeren pCA und FA mit Lignin bzw. Kohlenhydraten bestimmen sie den Grad der Inkrustierung, daher schienen uns diese beiden Säuren als Prüfparameter ebenfalls besonders geeignet.

Für alle Fälle der vorliegenden Untersuchungen zeigt pCA keine Korrelation zur Verdaulichkeit der OS.

Eine Erklärung dafür ist die unterschiedliche Verteilung der Gräser und Weißklee auf die Einzelbestände. Der pCA-Gehalt der verschiedenen Gräserspezies lag zwischen 1,6 g/kg TS für Wiesenlieschgras und 3,2 g/kg TS bei Glatthafer, dagegen liegt der Mittelwert von Weißklee bei 0,2 g/kg TS.

Eine weitere Begründung für die fehlende Korrelation ist, daß verschiedene Gräserarten unterschiedliche Korrelationskoeffizienten aufweisen wie FALES et al. (1991) nachgewiesen haben.

Diese Beziehung war sehr eng für Weidelgras (*Lolium perenne* L x *L multiflorum* Lam) und Wiesenlieschgras (*Phleum pratense*) mit  $R^2 = 0,96$ , und für Knautgras (*Dactylis glomerata*) ergab sich eine schwache Korrelation mit  $R^2 = 0,55$ .

Für die einzelnen Gräser unserer Probebestände konnte diese Korrelation nicht berechnet werden, da die analytische Zahl pro Gräser so niedrig war.

In unseren Untersuchungen besteht eine schwache Korrelation ( $\text{adj.}R^2 = 0,22$ ) zwischen der in vivo- Verdaulichkeit der OS und dem pCA:FA- Verhältnis nur beim 1. Schnitt. Für die Probengesamtheit, den 2. Schnitt sowie für die Nutzungsvariante ergibt keine Korrelation.

Eine engere Korrelation zwischen pCA:FA- Verhältnis und der in vitro- Verdaulichkeit der Trockensubstanz fanden BURRITT et al. (1984) mit Bestimmtheitsmaß von 0,71. Im Vergleich zu unseren Untersuchungen bestand diese Probe nur aus drei Gräsern: Reed canarygrass (*Phalaris arundinacea*), Russian wildrye (*Elymus juncus*) und Smooth brome grass (*Bromis inermis*).

Aus der bereits zitierten Literatur SÜDEKUM et al. (1990) ergaben sich für Weidelgras-Weißklee-Bestände Korrelationskoeffizienten zwischen Rohfaser- bzw. ADF-Gehalt und der in vivo- Verdaulichkeit von 0,57 bzw. 0,66.

Die Proben stammen aus dem 1. Schnitt eines Bestandes zu unterschiedlichen Schnittterminen. Wurden unsere Proben nur auf den 1. Schnitt beschränkt, so erreicht der Rohfaser- bzw. ADF- Gehalt eine engere Korrelation ( $\text{adj.}R^2 = 0,75$  bzw. 0,82) zur Verdaulichkeit, obwohl wir drei verschiedene Bestände in drei aufeinanderfolgenden Jahren mit unterschiedlichen Nutzungsarten zusammengefasst haben.



Wie aus der Tabelle 39 zu ersehen ist, wurde eine engere Korrelation für Rohfaser- bzw. ADF-Gehalt gefunden, wenn es sich um reine Gräserbestände handelte.

Für Perennial ryegrass, Cocksfoot und Timothy fand JONES (1970) ein Bestimmtheitsmaß von 0,81 für Rohfaser und für Russian wildrye, Smooth brome grass und Reed canarygrass fanden BURRITT et al. (1985) einen Korrelationskoeffizient von 0,86 für ADF.

Im Vergleich mit dem ersten Aufwuchs bestehen beim zweiten Aufwuchs nur schwache Korrelationen zwischen ADF und der Verdaulichkeit. Das bedeutet, daß die schwache Korrelation bei der Probengesamtheit durch die Probe aus dem 2. Schnitt verursacht wurde. Die Streubreite liegt beim 2. Schnitt größer. Vermutlich ist neben Aufwuchsbedingungen auch Weißkleeanteil ein wichtiger Faktor, der diese Korrelation beeinflusst hat. Insgesamt ist der Weißkleeanteil im 2. Schnitt höher als im 1. Schnitt, das Verhältnis liegt bei 1,5:1.

VAN SOEST et al. (1983) haben bei den Gräsern nachgewiesen, daß es beim 1. Schnitt eine Korrelation zwischen in vivo- Verdaulichkeit und der ADF ( $R^2 = 0,52$ ) besteht und bei Folgeaufwüchsen keine Korrelation. Dieselben Autoren haben auch bestätigt, daß diese Beziehung enger bei den Gräsern (0,52) als bei den Leguminosen ( $R^2 = 0,40$ ).

Zwischen allen bestimmten Parametern und der in vivo- Verdaulichkeit bestanden für die Nutzungsvariante A keine Zusammenhänge.

Die Ursache dafür ist, daß bei Rohfaser-, ADF- bzw. ADL-Gehalt, die in sehr engen Bereichen schwanken (240-260 g/kg TS, 260-275 g/kg TS bzw. 22-30 g/kg TS), die Verdaulichkeit der organischen Substanz zwischen 66 und 80 % lag.

Trennt man die Nutzungsvariante A nach 1. und 2. Schnitt ergibt sich für den 1. Schnitt ein Korrelationskoeffizient von 0,59 für ADF, im 2. Schnitt besteht kein Zusammenhang. Die relativ geringere Korrelation bei der Nutzung A im 1. Schnitt im Vergleich zu allen Proben im 1. Schnitt kann nicht interpretiert werden.

Sowohl bei Nutzung A als auch bei B ist die Streuung groß für die Beziehung zwischen der in vivo Verdaulichkeit und dem Rohfasergehalt (s. Abb. A4-A6). Grund für die fehlende Korrelation sind die stark unterschiedlichen Reifegrade zwischen den Versuchsjahren (s. Tabelle 11).

Für die Probengesamtheit der vorliegenden Untersuchungen erreicht ADL eine Korrelation von  $\text{adj.}R^2 = 0,60$  zur Verdaulichkeit.

Eine schwächere Korrelation zwischen ADL und in vivo- Verdaulichkeit hat auch VAN SOEST (1983) bei Mischbeständen (Gräser und Leguminosen) mit  $R^2 = 0,37$  gefunden. Eine sehr enge Korrelation zwischen ADL und in vitro- Verdaulichkeit der Trockensubstanz wurden von verschiedenen Autoren wie JONES (1970), FORD (1978), BURRITT et al. (1985), FALES et al. (1991) bei den reinen Gräsern nachgewiesen.

Bei der Trennung der Proben nach 1. und 2. Schnitt ergibt sich für den 1. Schnitt mit  $\text{adj.}R^2 = 0,81$  eine höhere bzw. für den 2. Schnitt mit  $\text{adj.}R^2 = 0,37$  eine geringere Korrelationskoeffizienz im Vergleich zur Probengesamtheit.

Auch hier hat der Unterschied der ADL-Gehalte zwischen Weißklee und Gräsern einen starken Einfluss. Im 1. Schnitt ist die ADL-Konzentration im Weißklee durchschnittlich 1,5 höher als in den Gräsern (Vgl. Tab. 31), im 2. Schnitt ist die Steigerung wesentlich

ausgeprägter und beträgt 2,6 fach. Außerdem ist der Kleeanteil auf den Beständen höher als im 1. Schnitt.

Die von uns durchgeführte Regressionsberechnung zwischen dem ADL- und ME-Gehalt (ME HFT) der Einzelpflanzen (Gräser) ergaben unter Einbeziehung von Weißklee keine Beziehung. Wurden nur Einzelpflanzen geprüft, bestand ein Korrelationskoeffizient von 0,52. Vergleichbare Ergebnisse zwischen Einzelpflanzen und Weißklee auf die Korrelation zum ADL-Gehalt fanden SMITH et al. (1972). Die Korrelation zwischen ADL und der Zellwandverdaulichkeit bei Gräsern lag bei 0,67. Das Bestimmtheitsmaß sank auf 0,22 bei Einbeziehung von Weißklee in die Probe. Ähnlich haben JUNG und DEETZ (1993) nachgewiesen, dass bei den Gräsern ( $R^2 = 0,95$ ) eine deutlich engere Korrelation zwischen Lignin und der in vitro-Verdaulichkeit der Zellwand als bei den Leguminosen ( $R^2 = 0,35$ ) bestand.

Der Lignifizierungsgrad wurde von VAN SOEST (1983) als Maß für den Abbau der Zellwand definiert. Er errechnet sich aus dem Verhältnis von Lignin (ADL) zu verschiedenen Faserfraktionen NDF, XF und ADF.

Mit fortschreitender Reife der Pflanzen nimmt die Lignifizierung zu, d.h., die Gehalte an Lignin und phenolischen Säuren steigen an, und die Verdaulichkeit der Zellwand sinkt ab.

So konnte VAN SOEST (1983) für Gräser- sowie Leguminosenbestände eine engere Korrelation zwischen dem Lignifizierungsgrad ADL:ADF und Zellwandverdaulichkeit von 0,96 nachweisen. Der Lignifizierungsgrad lag für analysierte Gräser zwischen 8 und 15 und für analysierte Leguminosen zwischen 17 und 25. Die unterschiedliche Werte ergaben sich aus dem höheren ADL-Gehalt und geringeren ADF-Gehalt im Vergleich zu Gräsern.

Bei Mischung von Gräsern und Leguminosen verringert sich die Schwankungsbreite des Lignifizierungsgrades, was mit einem Abfall der Korrelation einhergeht. So fanden wir die Korrelation bei Probengesamtheit von 0,42 und beim 1. Schnitt von 0,64.

Ein von uns definierter Lignifizierungsgrad ist das ADL:Gesamt-lignin- Verhältnis. Das Gesamt-lignin setzt sich aus dem löslichen Lignin und ADL zusammen.

Nach MOHR und SCHOPFER (1992) ist die Bildung von Ligninpolymeren von der Bereitstellung von Monomeren abhängig. Da in Gräsern der p-Cumarylalkohol den Hauptanteil der Monomere darstellt und dessen Bildung in einem relativ frühen reifen Stadium abgeschlossen wurde, stellt das Maß Gesamt-lignin das eigentliche Ligninpotential dar.

Im Vergleich zum ADL:ADF von VAN SOEST (1983) erreicht ADL:Gesamt-lignin eine bessere Korrelation zur in vivo- Verdaulichkeit mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,68 für die Probengesamtheit bzw. von 0,81 für den 1. Schnitt.

Als Schlußfolgerung ergibt sich, daß das Verhältnis ADL:Gesamt-lignin als geeignetster Parameter für die Beziehung zur Verdaulichkeit der organischen Substanz scheint. Die Bestimmung des löslichen Lignins ist relativ einfach. Sie erfolgt über spektrophotometrische Messung der Absorption im UV-Bereich.

#### 5.4 Methodenvergleich – Methoden der Bestimmung des energetischen Futterwertes

Ein Bestandteil der Untersuchungen war es, die umsetzbare Energie (ME) auf Basis der Rohnährstoffe und der in vitro Methoden (HFT und Cellulase) für die geprüften Pflanzenbestände zu berechnen und mit in vivo gemessenen Werten zu vergleichen.

Als Maße für die Schätzgenauigkeit der geprüften Methoden wurden das Bestimmtheitsmaß, der Standardfehler der Regressionsgleichungen, das Signifikanzniveau und die Abweichung zum in vivo Wert erstellt (Tabellen 26 und 27).

Der Standardfehler gibt Auskunft über die Standardisierung der Methodik und ist kein Maß für die Differenz der Werte. So liegt mit 1,0% bis 3,0% der Standardfehler bei unseren Untersuchungen für die Schätzgleichungen auf Basis der Rohnährstoffgehalte am niedrigsten.

Bei Betrachtung der Abweichungen der geschätzten Energiegehalte zum in vivo Wert ergibt diese Gleichung für Probengesamtheit und beim 1. sowie 2. Schnitt Schätzergebnisse mit Abweichungen von 0,48 MJ ME/kg TS, was einer Abweichung von 5% entspricht. Diese Gleichungen weisen die größten Abweichungen vom in vivo- Messwert auf. Grund dafür ist, dass das geprüfte Material auch die Proben aus extensiver Nutzung umfasst. Für diese Proben wird diese Gleichung nicht empfohlen.

Unabhängig davon, ob die Rohnährstoffgleichungen unter Berücksichtigung des Aufwuchses empfohlen werden oder nicht, ist die Anwendung dieser Schätzgleichungen nur auf Aufwüchse aus der qualitätsorientierten Nutzung (Drei- oder Vier-Schnittnutzung) zu begrenzen.

Die geringste Abweichung bei der Probengesamtheit und beim 1. Schnitt erreichen die HFT- und EuLOS<sup>96</sup>- Gleichungen.

Die größere Abweichung vom in vivo Meßwert bei Anwendung von HFT-Gleichung für den 2. Schnitt im Gegensatz zu den EuLOS-Gleichungen kann durch den höheren Rohfettgehalt der Bestände im 2. Schnitt erklärt werden, die ursächlich mit dem erhöhten Kleeanteil im Zusammenhang stehen. Der Kleeanteil liegt beim 2. Schnitt insgesamt 35 % höher als beim 1. Schnitt. Der durchschnittliche Rohfettgehalt ist beim 2. Schnitt 16 % höher als beim 1. Schnitt. Für die Berechnung des Energiegehaltes bei Anwendung der HFT-Gleichung geht der Rohfettgehalt mit dem größten Faktor ein (vgl. Gleichung S.29). Trotz gleicher Gasbildung bei Klee und Gräsern im 2. Schnitt ist der geschätzte Energiegehalt nach der HFT-Gleichung für Klee auf Grund des höheren Fettgehaltes höher als bei den Gräsern.

In Abhängigkeit von der Nutzung ergeben sich für die angewendeten Schätzgleichungen ebenfalls unterschiedliche Abweichungen im Vergleich zu den in vivo Werten.

Bei intensiver Nutzung A sind alle Schätzgleichungen bis auf die ELOS-Gleichung gut geeignet, um den Energiegehalt zu schätzen.

Bei Unterlassung der Stickstoffdüngung und dem entsprechend höherem Leguminosenanteil im Aufwuchs (Nutzungsvariante B) trat für die Anwendung von HFT- und Rohnährstoffgleichungen höherer Schätzfehler im Vergleich zu den Gleichungen auf Basis der Cellulase auf. Die Überschätzung zum in vivo- Wert lag bei Rohnährstoffgleichung in Höhe von 0,33 MJ ME/kg TS und von 0,25 MJ ME/kg TS bei HFT-Gleichung.

Die Frage nach dem Einfluß des Leguminosenanteils und dem Verzicht auf N-Düngung in der zu prüfenden Futterpartie mit der Gleichung auf Basis des HFT und der Roh Nährstoffgehalte konnte für diese Nutzung nicht eindeutig geklärt werden.

Bei Zwei-Schnittnutzung (Nutzung C) ist die Anwendung der Roh Nährstoffgleichung mit einem großem Fehler verbunden. Die Abweichung des Energieschätzwertes betrug bei unseren Proben 1,17 MJ/kg TS, das entspricht 13,7 %. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit der GfE (1998), die die Anwendung der Gleichung auf extensive Grünlandbestände nicht empfiehlt.

Die Ursache für Überschätzung des Energiegehaltes ist bei hohem Reifegrad die nichtlineare Beziehung zwischen Rohfasergehalt und der Verdaulichkeit.

Auch BUSKE et al. (1994) deuteten an, daß sich die Wahrscheinlichkeit einer falschen energetischen Bewertung mit zunehmender Aufwuchsdauer bzw. bei späten Schnittterminen erhöht.

Die in vitro- Methoden beruhen auf der Messung des Abbaus der Nährstoffe im Pansen. Wenn der prozentuale Abbau im Pansen im Vergleich zur in vivo Verdaulichkeit größeren Schwankungen unterliegt, ist anzunehmen, dass die auf den Pansenabbau beruhende Energieschätzung fehlerhaft sein kann.

Beim verminderten Abbau im Pansen ist eine Unterschätzung des Energiewertes zu erwarten.

Beispielsweise war der ADF-Abbau im Pansen bei den Proben 7C1.96, 5C1.98 bzw. 7C1.98 sehr gering und lag bei 14,6 %, 11,1 bzw. 19,6 %, das entspricht einem Anteil des ADF-Abbaus im Pansen von 29 %. Der durchschnittliche Anteil des Abbaus bei der Nutzung C lag bei 51 %. Die für diese Proben resultierenden Einzelwerte der Energieschätzung ergaben negative Abweichungen von 0,2 bis 0,9 MJ ME/kg TS.

Für die extensive Nutzung C ergeben sich die Gleichungen von EuLOS<sup>96</sup> und HFT die beste Übereinstimmung mit den in vivo – Werten.

Nach WEISSBACH et al. (1999) war die Gültigkeit der EuLOS<sup>96</sup>-Gleichung für extreme Spätschnitte von Extensivgrünland nicht gegeben. Die EuLOS<sup>99</sup>-Gleichung wurde unter Berücksichtigung von extensiver Grünlandnutzung erstellt. Unsere Untersuchung erbrachte bei Anwendung EuLOS<sup>99</sup>-Gleichung auf die Nutzung C keine Erhöhung der Schätzgenauigkeit. Die Abweichung war größer als bei der Anwendung der EuLOS<sup>96</sup>-Gleichung.

In den vorliegenden Untersuchungen wurden Verdaulichkeiten der organischen Substanz unter 60 % nur beim ersten Schnitt der extensiven Nutzung C festgestellt. Auf Basis der Roh Nährstoffgleichung ist die Abweichung vom Energiemesswert sehr hoch mit 1,64 MJ/kg TS. Bei einer Verdaulichkeit über 60 % ist der Schätzfehler wesentlich niedriger.

Unabhängigkeit von der Verdaulichkeit weisen die Gleichungen EuLOS<sup>96</sup> und HFT die besten Ergebnisse auf.

Eigentlich sollte für die Gleichung-EuLOS<sup>96</sup> nur Futtermittel mit einer Verdaulichkeit der organischen Substanz von  $\geq 61$  % einbezogen werden (WEISSBACH et al., 1999). Da die vorliegenden Untersuchungen in dem geringen Verdaulichkeitsbereich nur 5 Messwerte

aufweisen, ist die Einschätzung der Anwendbarkeit auf diesen Bereich nicht sicher vorzunehmen.

Für die Anwendung von Rohrnährstoffgleichungen ist aus den vorliegenden Ergebnissen zu schlussfolgern, daß sie nur bei qualitätsorientierter Nutzung in Betracht kommen. Ob in der Anwendungsempfehlung die Unterscheidung zwischen 1. Schnitt und Folgeaufwüchsen aufrecht erhalten werden muss, sollte nach Sichtung allen vorhandenen Datenmaterials und Auswahl definierter Grünfutterpartien nochmals geprüft werden.

Von den in Frage kommenden Gleichungen auf der Basis von in vitro-Parametern sind die HFT- und EuLOS<sup>96</sup>-Gleichungen am besten geeignet. Nach den vorliegenden Ergebnissen erzielten die beiden Gleichungen insgesamt beste Übereinstimmung mit den Energiemeßwerten, besser als bei Anwendung der aktuellen EuLOS-Gleichung. Eine Eingrenzung der Anwendbarkeit der Gleichung auf Grünfutter bestimmter Nutzungssysteme ist bei den Gleichungen auf Basis von in vitro-Parametern nicht erforderlich.

In Übereinstimmung mit den vorliegenden Ergebnissen betrachteten viele Autoren wie COTTYN et al. (1990), SPATZ et al. (1991), NEFF (1991), RODEHUTSCORD et al. (1993, 1994), AIPLE et al. (1995) die HFT-Methode als geeignetstes Verfahren für die Futterwertschätzung von Grünlandaufwüchsen.

## 6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Ziel der Arbeit war es zu prüfen, ob die von uns ausgewählten Parameter (Xylose, Arabinose, pCA, FA, säurelösliches Lignin, Gesamtlignin sowie ADL:Gesamtlignin) eine engere Korrelation zur Verdaulichkeit der organischen Substanz haben als die Rohfasergehalte. Weiterhin sollten die Energie-Schätzwerte auf Basis der Rohnährstoffe und der in vitro Methoden (HFT und Cellulase) mit in vivo gemessenen Werten verglichen werden und der Einfluß der Einzelpflanzen auf den Energiegehalt der Bestände sollte geprüft werden.

Für die eigenen Untersuchungen wurden Grünlandbestände genutzt, die zum größten Teil in einem zeitlich vorher laufenden BML-Projekt (KAISER, 1998) gewonnen worden waren. Insgesamt stammten 50 Bestandsproben aus den Jahren 1996-1998 von drei unterschiedlichen Versuchsflächen (5, 6 und 7) mit verschiedenen Pflanzenzusammensetzungen (Gräser und hauptsächlich Weißklee). Jede Fläche bestand aus drei verschiedenen Nutzungsvarianten (A, B und C). A und B sind qualitätsorientierte Nutzungen (3 bis 4 Schnitte im Jahr). Die Nutzung B unterscheidet sich von A nur durch fehlende Stickstoffdüngung. Es wurden der 1. und 2. Schnitt berücksichtigt.

Mit den Bestandsproben wurden in vivo- Verdaulichkeitsuntersuchungen an Schafen zur Bestimmung des energetischen Futterwertes durchgeführt und von allen Proben die Cellulase-Löslichkeit analysiert (KAISER, 1998). Diese Daten wurden für die eigene Arbeit genutzt.

In den Jahren 1997 und 1998 wurden die Hauptbestandsbildner (zwei bis fünf verschiedene Pflanzenarten) der Bestände gewonnen.

Alle Bestandsproben und Einzelpflanzen wurden nach der Weender-Analytik analysiert und die Faserbestandteile NDF, ADF und ADL bestimmt. Weiterhin wurden die Hemicellulosemonomeren Xylose und Arabinose, die phenolischen Säuren (pCA und FA) sowie säurelösliches Lignin bestimmt.

Alle Bestandsproben und Einzelpflanzen wurden im HFT-Gastest untersucht.

Der Abbau der Faserbestandteile im Pansen wurde mittels Nylon-Beutel Technik ermittelt.

Eine Faseranalytik in den Kotproben aus den Verdaulichkeitsversuchen ermöglichte es, auch die Verdaulichkeit einzelner Faserkomponenten zu ermitteln.

Zur Schätzung der umsetzbaren Energie (ME) wurden die von der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 1998) empfohlenen Gleichungen auf der Basis des Rohnährstoffgehaltes und der Gasbildung (Gb) sowie die Gleichungen von WEISSBACH et al. (1996, 1999) auf der Basis der enzymunlöslichen organischen Substanz (EuLOS) verwendet. Für die einbezogene ELOS-Gleichung liegt noch keine Empfehlung vor.

Die erzielten Ergebnisse und die Schlussfolgerungen können wie folgt abgeleitet werden:

1. Die chemische Zusammensetzung nach Weender-Analytik von den untersuchten Grünlandbeständen war im wesentlichen durch die Nutzungsintensität bestimmt.

Die Faserbestandteile erreichen erwartungsgemäß bei geringeren Nutzungsintensität signifikant höhere Werte, die jedoch für den 2. Schnitt nicht ausgeprägt sind.

Unterschiedliche Weißkleeanteile haben einen starken Einfluss auf die Gehalte an

Hemicellulosemonomeren und phenolische Säuren, da Weißklee ein um 83 % geringeren Hemicellulosegehalt und um 84 % geringeren phenolische Säuren- Gehalt als Gräser aufweist.

Unterschiedliche Weißkleeanteile haben einen stärkeren Einfluss auf die chemische Zusammensetzung der Bestände als auf deren Energiegehalte.

Unterschiedliche Gräser haben einen geringen Einfluss auf die chemische Zusammensetzung der Bestände.

2. Die Prüfung der herkömmlichen Faserparameter erbrachten bei vergleichbaren Beständen zum Teil bessere Korrelationen als in der Literatur beschrieben. Die ADF- und ADL-Gehalte haben eine engere Korrelation zur Verdaulichkeit der organischen Substanz als die Rohfasergehalte.

Durch den starken Einfluss von Weißklee auf die Gehalte an Hemicellulosemonomeren und phenolischen Säuren konnten die Arbeitshypothese einer engen Korrelation zu diesen Parametern nicht bestätigt werden.

Das ADL:Gesamt lignin Verhältnis erbrachte die engste Korrelation zur in vivo-Verdaulichkeit. Aus diesem Grund wird dieser Parameter als Prüffaktor als am geeignetsten betrachtet.

Die Korrelationskoeffizienten von den untersuchten Pflanzenbeständen sind stark von den Nutzungsregimes bzw. von den Aufwüchsen bestimmt.

Im Allgemein erbrachte die quadratische Funktion keine bessere Korrelation im Vergleich zur linearen Funktion.

Verschiedene Gräserarten weisen für alle geprüften Parameter unterschiedliche Korrelationskoeffizienten zum geschätzten Energiegehalt auf.

3. Bei Anwendung der Schätzgleichungen auf Basis des Rohnährstoffgehaltes war der Standardfehler der Methode mit 1,0 bis 3,0 % am geringsten. In Abhängigkeit von den geprüften Variablen lag die Abweichung zum in vivo Wert zwischen 0,04 und 1,64 MJ ME/kg TS.  
Bei intensiver Nutzung A erreicht diese Gleichung das beste Ergebnis (Abweichung 0,04 MJ /kg TS). Nach unseren Ergebnissen ergibt die Rohnährstoffgleichung für intensive Nutzung bzw. für Verdaulichkeiten der organischen Substanz über 60% gute Schätzergebnisse.

Der Vergleich der unterschiedlichen in vitro Methoden ergab für die ELOS-Gleichung unbefriedigende stark schwankende Abweichungen, so dass diese Gleichung als ungeeignet eingeschätzt wird.

Die aus der Cellulasemethode abgeleiteten EuLOS-Gleichungen und die HFT-Methode erbrachten im Wesentlichen gute Schätzergebnisse.

Die Überschätzung des Energiegehaltes bei der HFT-Methode für den 2. Schnitt bzw. die Nutzung B kann mit einem stark angestiegenen Kleeanteil begründet werden (Höherer Fettanteil im Klee, Hoher Faktor für den Fettgehalt in der HFT-Gleichung).

Ein Vergleich der EuLOS-Gleichungen von 1996 und 1999 erbrachte eine bessere Eignung der Gleichung von 1996, obwohl bei dieser Gleichung Proben aus extensiver Nutzung nicht berücksichtigt waren.

Bei Anwendung der in vitro-Gleichungen war die durchschnittliche Differenz zwischen Schätz- und Messwert relativ gering. Der Standardfehler liegt bei den EuLOS-Gleichungen zum Teil geringer als bei HFT-Gleichung.

4. Da die Schätzung des Energiegehaltes mittels in vitro Methoden wegen des höheren Aufwandes wesentlich weniger verbreitet ist als die Anwendung der Rohnährstoffgleichung scheint eine weitere Prüfung der möglichen Einbeziehung des Verhältnisses von ADL:Gesamtlignin als Analysenparameter für die Erstellung von Regressionsgleichungen sinnvoll.



## 7 Literaturverzeichnis

- AKIN, D. E.; R. D. HARTLEY und W. S. BORNEMAN (1992): feruloyl and paracoumaroyl-carbohydrate esters from grass and cellulose degradation by ruminal microorganisms. Published in *Agron. J.* **84**, 613-615.
- ÅMAN, P. und E. LINDGREN (1983): Chemical Composition and in-vitro degradability of individual chemical constituents of six swedish grasses harvested at different stages of maturity. *Swed. J. Agric. Res.*, **13**, 221-227.
- ÅMAN, P. und E. NORDKVIST (1983): Chemical composition and in-vitro degradability of major chemical constituents of red clover harvested at different stages of maturity. *J. Sci. Food Agric.* **34**, 1185-1189.
- ÅMAN, P. (1993): Composition and structure of cell wall polysaccharides in forages; Editors: JUNG, H. G.; D. R. BUXTON; R. D. HATFIELD und J. RALPH, Printed in: *Forage cell wall structure and digestibility*. Madison, Wisconsin, USA, 183-196.
- AIPLE, K. – P.; H. STEINGASS und W. DROCHNER (1995): Schätzung des Energiegehaltes von Grundfuttermitteln mit einer Pepsin-Cellulase-Methode und dem Hohenheimer Futterwerttest. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, **4**, 99.
- ALERT, H. J. und T. ECKARDT (1996): Nährstoffgehalt und in situ-Abbau der organischen Substanz im Pansen von Weissklee und Gräsern in Abhängigkeit vom Nutzungszeitpunkt. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **42**, 179-188.
- BACON und GORDON (1980): The effect of various deacetylation procedures on the nylon bag digestibility of barley straw and of grass cell walls recovered from sheep faeces. *J. Agric. Sci. Camb.*, **94**, 361-367.
- BACON, J. S. D.; A. H. GORDON und E. J. MORRIS (1975): Acetyl groups in cell wall preparations from higher plants. *Biochem. J.* **149**, 485-487.
- BAILEY, R. W. und W. F. HUNT (1973): Structural carbohydrate levels in kikuyu grass and ryegrass grown under identical conditions. *N. Z. J. agric. Res.*, **16**, 203-205.
- BARON, J. P. (1994): Einfluß der Wachstumstemperatur auf die Entwicklung des Mahlwiderstandes von *Lolium multiflorum* Lam. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **40**, 74-89.
- BEEVER, D. E.; D. J. THOMSON; M. J. ULYATT; S. B. CAMMELL und M. C. SPOONER (1985): The digestion of fresh perennial ryegrass (*Lolium perenne* L. cv. Melle) and white clover (*Trifolium repens* L. cv. Blanca) by growing cattle fed indoors. *Br. J. Nutr.*, **54**, 763-775.
- BEEVER, D. E.; N. OFFER und M. GILL (2000): The feeding value of grass and grass products, Printed in: *Grass, Its production and utilization* (A. HOPKINS), Institute of Grassland and Environmental Research, North Wyke, Okehampton, Devon, UK, 140-190.
- BEN-GHEDALIA, D. und A. RUBINSTEIN (1985): The effect of dietary starch on the digestion by sheep of cell wall monosaccharide residues in maize silage. *J. Sci. Food Agric.*, **36**, 129-134.
- BEN-GHEDALIA, D. und MIRON, J. (1984): The digestion of total and cell wall monosaccharides of alfalfa by sheep. *J. Nutr.*, **114**, 880-887.
- BEVERIDGE, R. J. und G. N. RICHARDS (1973): Digestion of polysaccharide constituents of tropical pasture herbage in the bovine rumen. Part III. Examination of the celluloses and Hemicelluloses of spear grass (*heteropogon contortus*) which resist digestion. *Carbohydr. Res.*, **28**, 39-43.
- BISCHOFF, H. M. und G. ADOLF (1992): Einfluß der Stickstoffdüngermenge, -form und Beregnung auf die floristische Entwicklung, Futterqualität und Ertragsleistung einer artenarmen Gräsermischung (*Lolium perenne* L. und *Poa pratensis* L.) im Deichvorland der Elbe. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **38**, 188-201.
- BITTNER, A. S. (1983): Alkali-soluble phenolic acids from a xylan fraction isolated from reed canarygrass. *J. Dairy Sci.*, **66**, 920-923.

- BITTNER, A. S. und J. C. STREET (1983): Monosaccharide composition of alcohol and detergentien soluble residues in maturing reed canarygrass leaves. *J. Agric. Food Chem.*, **31**, 7-10.
- BOHN, P. J. und FALES, S. L. (1989): Cinnamic acid-carbohydrate esters: an evaluation of a model system. *J. Sci. Food Agric.* **48**, 1-7.
- BORNEMAN, W. S.; D. E. AKIN und W. P. VAN ESELTINE (1986): Effect of phenolic monomers on ruminal bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, **52**, 1331-1339.
- BOURQUIN, L. D.; K. A. GARLEB; N. R. MERCHEN und G. C. FAHEY, JR. (1990): Effects of intake and forage level on site and extent of digestion of plant cell wall monomeric components by sheep. *J. Anim. Sci.*, **68**, 2479-2495.
- BRICE, R. E. und I. M. MORRISON (1982): The Degradation of Isolated Hemicelluloses and Lignin-Hemicellulose Complexes by cell-free, Rumen Hemicellulases. *Carbohydr. Res.*, **101**, 93-100.
- BURCHARD, W. (1985): Struktur und biologische Funktion von Polysacchariden. Lehrbuch, Polysaccharide. Springer-Verlag, 1-110
- BURGSTALLER, G. (1988): Konsequenzen von Naturschutzaufgaben auf Grünland für die Rindviehfütterung. In: Auswirkungen von Naturschutzaufgaben auf die Grünlandbewirtschaftung, KTBL-Arbeitspapier **131**, 97-100, Darmstadt.
- BURRIT, E.A.; A.S.BITTNER; J.C. STREET und M.J. ANDERSON (1984): Correlations of phenolic acids and xylose content of cell wall with in vitro dry matter digestibility of three maturing grasses. *J. Dairy Sci.*, **67**, 1209-1213.
- BURRITT, E. A.; A. S. BITTNER; J. C. STREET und M. J. ANDERSON (1985): Comparison of Laboratory Methods for the Prediction of in Vitro Dry Matter Digestibility in Three Maturing Grasses. *J. Agric. Food Chem.*, **33**, 725-728.
- BUSKE, F.; FRIEDEL, K. und BOCKHOLT, R. (1994): Zu Problemen der Verdaulichkeitsschätzung bei Pflanzenbeständen extensiv genutzter Niedermoore. Kongreßband, VDLUFA-Schriftenreihe **38**, 401-404.
- BUXTON, D. R. und RUSSELL, J. R. (1988): Lignin constituents and cell wall digestibility of grass and legume stems. *Crop Sci.* **28**, 553-558.
- BUXTON, D.R. (1990): Cell wall components in divergent germplasms of four perennial forage grass species. *Crop Sci.*, **30**, 402-408.
- CHESSON, A. und J. A. MONRO (1982): Legume Pectic Substances and their Degradation in the Ovine Rumen. *J. Sci. Food Agric.*, **33**, 852-859.
- CHESSON, A. (1993): Mechanistic models of forage cell wall degradation, Printed in: Forage cell wall structure and digestibility (JUNG, H. G.; D. R. BUXTON; R. D. HATFIELD und J. RALPH), Madison, Wisconsin, USA, 347-368.
- CORNU, A. (1994): Lignin-carbohydrate complexes in forages: structure and consequences in the ruminal degradation of cell wall carbohydrates. *Reprod Nutr Dev* **34**, 385-398.
- COTTYN, B. M.; J. L. DE BOEVER und J. M. VANACKER (1990): The estimation of nutritive value of dairy cattle feed. *Arch. Anim. Nutr.*, **40**, 969-980.
- DAHMEN, P. und W. KÜHBAUCH (1990): Veränderungen der Grünlandnarbe als Folge einer Umstellung von konventioneller Mähweidenutzung auf extensive Schnittnutzung auf dem Standort Rengen. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **36**, 175-185.
- DANIEL, P. und SIMON, U. (1981): Einfluß der Düngung und Ansaat auf Ertrag und Pflanzenbestand eines Borstgrasrasens im Hohen Vogelsberg. *Das Wirtschaftseigene Futter* **27**, 104-120.
- DAUGHTRY, C. S. T.; D. A. HOLT und V. L. LECHTENBERG (1978): Concentration, Composition, and in vitro Disappearance of Hemicellulose in Tall Fescue and Orchardgrass. *Agronomy Journal*, **70**, 550-554.
- DEKKER, R. F. H. und G. N. RICHARDS (1972): Digestion of polysaccharide constituents of tropical pasture herbage in the bovine rumen. Part I. Townsville Stylo (*Stylosanthes humilis*). *Carbohydr. Res.*, **22**, 173-185.

- DEKKER, R. F. H. und G. N. RICHARDS (1973): Digestion of polysaccharide constituents of tropical pasture herbage in the bovine rumen. Part II. Spear grass (*Heteropogon contortus*). Carbohydr. Res., **27**, 1-4.
- DLG (1997): DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer, 7. Auflage., DLG-Verlag Frankfurt a. Main
- DONEFER, E. (1963): Dry matter disappearance by enzyme and aqueous solutions to predict the nutritive value of forages. J. Dairy Sci. **46**, 965.
- DYCKMANS, A. (1989): Die Leistungsfähigkeit von Weißklee - Sein Beitrag zur Ertragsleistung von Dauergrünland-Neuansaat. 1. Mitteilung: Alle Standorte. Das Wirtschaftseigene Futter **35**, 29-48.
- ELSÄSSER, M. und G. briemle (1992): Grünland extensiv nutzen - worauf kommt es an ? Top Agrar **4**, 86-90.
- FALES, S. L.; P. J. BOHN und R. J. HOOVER (1991): Modification of In-vitro digestibility and cell wall composition of cocksfoot, ryegrass and timothy by imazethapyr. J. Sci. Food Agric. **54**, 71-78.
- FENGEL, D. und WEGENER, G. (1983): Lignin-polysaccharide complexes - Compounds or associations ? In: Int Symp Wood Pulp Chem, Proc vol 1, Tsukuba Science City Japan, 144-148.
- FENGEL, D. (1985): Cellulose, in Lehrbuch: Polysaccharide (W. BURCHARD), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 15-24.
- FORD, C. W. (1978): Effect of Partial Delignification on the in vitro Digestibility of Cell Wall Polysaccharides in *Digitaria decumbens* (Pangola Grass). Aust. J. Agric. Res., **29**, 1157-1166.
- FORD, C. W. und R. ELLIOTT (1987): Biodegradability of mature grass cell walls in relation to chemical composition and rumen microbial activity. J. agric. Sci., Camb., **108**, 201-209
- FRANZ, G. (1991): Lehrbuch: Polysaccharide, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1-15.
- GAILLARD und RICHARDS (1975): Presence of soluble lignin-carbohydrate complexes in the bovine rumen. Carbohydr. Res., **42**, 135-145.
- GAILLARD, B. D. E. (1962): The relationship between the cell wall constituents of roughages and the digestibility of the organic matter. J. Agric., Sci., **59**, 369-373.
- GARLEB, K. A.; L. D. BOURQUIN; J. T. HSU; G. W. WAGNER; S. J. SCHMIDT und G. C. FAHEY, JR. (1991): Isolation and chemical analyses of nonfermented fiber fractions of oat hulls and cottonseed hulls. J. Anim. Sci., **69**, 1255-1271.
- GfE (1998): Herausgeber: M. KIRCHGESSNER, Mitteilung des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, Formeln zur Schätzung des Gehaltes an Umsetzbarer Energie in Futtermitteln aus Aufwüchsen des Dauergrünlandes und Mais-Ganzpflanzen. Proc. Soc. Nutr. Physiol. **7**, 141-150.
- GIEBELHAUSEN, H. und RICHTER, K. (1995): Einfluß von Düngung und Nutzung auf die Entwicklung der Pflanzenbestände eines Niedermoorstandortes. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Tagungsbericht, 152-155.
- GORDON, A. J. und T. S. NEUDOERFFER (1973): Chemical and in vivo evaluation of a brown midrib mutant of *Zea mays*. I. Finre, Lignin and amino acid composition and digestibility for sheep. J. Sci. Food Agric. **24**, 565-577.
- GORDON, A. J. (1975): A comparison of some chemical and physical properties of alkali lignins from grass and lucerne hays before and after digestion by sheep. J. Sci. Food Agric. **26**, 1551-1559.
- GORDON A. H.; J. A. LOMAX; K. DALGARNO und A. CHESSON (1985): Preparation and composition of mesophyll, epidermis and fiber cell walls from leaves of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). J. Sci. Food Agric., **36**, 509-519.
- GOTO, M.; A. H. GORDON und A. CHESSON (1991): Change in Cell-wall Composition and Degradability of Sorghum during Growth and Maturation. J. Sci. Food Agric., **54**, 47-60.
- GRABBER, J. H. und G. A. JUNG (1991): In vitro disappearance of carbohydrates, phenolic acids and lignin from parenchyma and sclerenchyma cell walls isolated from cocksfoot. J. Sci Food Agric., **57**, 315-323.

- GRAHAM, H. und ÅMAN, P. (1984): A comparison between degradation in vitro and in sacco of constituents of untreated and ammonia treated barley straw. *Anim. Feed. Sci. Technol.* **10**, 199-211.
- GRUBER, L.; A. STEINWIDDER; M. SOBOTIK; B. KRAUTZER; R. STEINWENDER und B. STEFANON (1997): Einfluss von Schnitthäufigkeit und Düngung eines Dauergrünlandbestandes im Alpenraum auf Tierbesatz und Nährstoffausscheidung von Milchkühen. Kongressband, VDLUFA-Schriftenreihe, **46**, 167-170.
- HARKIN, J. M. (1973): Lignin. In: G. W. Butler und R. W. Bailey (Ed.) *Chemistry and Biochemistry of Herbage*. Academic Press, London und New York, **Vol. I**, 323-373.
- HARMS, H. und R. G. ZGLIMBEA (1993): Einfluß von Stickstoffform und -angebot auf den Gehalt an cyanogenen Glykosiden, Polyaminen und phenolischen Verbindungen in *Phaseolus lunatus* (Limabohne). Kongreßband, VDLUFA-Schriftenreihe, **37**, 71-74.
- HARRIS, P. J. und R. D. HARTLEY (1976): Detection of bound ferulic acid in cell walls of gramineae by violet fluorescent microscopy., **259**, 508-510.
- HARTLEY, R. D. (1972): p-coumaric and ferulic acid components of cell walls of ryegrass and their relationships with lignin and digestibility. *J. Sci. Food Agric.* **23**, 1347-1354.
- HARTLEY, R. D. (1973): Carbohydrate esters of ferulic acid as components of cell walls of *Lolium multiflorum*. *Phytochemistry*, **12**, 661-665
- HARTLEY, R. D. und E. C. JONES (1977): Phenolic components and degradability of cell walls of grass and legume species. *Phytochemistry*, **16**, 1531-1534.
- HARTLEY, R. D. und J. Haverkamp (1984): Pyrolysis-mass spectrometry of the phenolic constituents of plant cell walls. *J. Sci. Food Agric.*, **5**, 14-20.
- HARTLEY, R. D. und FORD, C. W. (1989): Phenolic constituents of plant cell walls and wall biodegradability. In: LEWIS, N. G. und PAICE, M. G. (Eds.), *plant cell wall Polymers, Biogenesis and biodegradation*, **ACR Symp. Ser. 399**, American Chemical Society, Washington, 135-145.
- HASSELMANN, A. (1987): Hemicellulosen in Gräsern und Leguminosen sowie ihre Verdauung im Pansen von Wiederkäuern. Diplomarbeit, Institut für Tierernährung und Futtermittelkunde, Kiel, 16-68.
- HESPELL, R. B. und T. R. WHITEHEAD (1990): Physiology and Genetics of Xylan Degradation by Gastrointestinal Tract Bacteria. *J. Dairy Sci.*, **73**, 3013-3022.
- HEß, D. (1988): Lehrbuch: Pflanzenphysiologie. Verlag Ulmer, Stuttgart, 117-240; 410-421.
- HIRST, E. L.; D. J. MACKENZIE und CLARE B. WYLAM (1959): Analytical Studies on the Carbohydrates of Grasses and Clovers. IX. - Changes in Carbohydrate Composition during the Growth of Lucerne. *J. Sci. Food Agric.*, **10**, 19-26.
- HOCHBERG, H.; MATTHES, I.; RICHTER, G. und ZOPF, D (1994): Einfluß eines späten Schnittzeitpunktes auf Verdaulichkeit und Energiegehalt des Primäraufwuchses verschiedener Grünlandbestände. VDLUFA Schriftenreihe, **38**, 393-396
- IYAMA, K. und T. B. T. LAM (1991): Lignin in wheat internodes: linkages between phenylpropane units. *J. Sci. Food Agric.*, **56**, 551-560.
- IYAMA, K. und A. F. A. WALLIS (1990): Determination of lignin in herbaceous plants by an improved acetyl bromide procedure. *J. Sci. Food Agric.*, **51**, 145-161
- IYAMA, K. und T. B. T. LAM (1990): Lignin in wheat internodes. Part I: the reactivities of lignin units during alkaline nitrobenzene oxidation. *J. Sci. Food Agric.*, **51**, 481-491.
- JILG, T und G. BRIEMLE (1993): Futterwert und Futterakzeptanz von Aufwüchsen aus extensiv genutztem Grünland bei wachsenden Rindern. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **39**, 23-35
- JONES, D. I. H. (1970): Cell wall constituents of some grass species and varieties. *J. Sci. Food Agric.* **21**, 559-562.
- JONES, G. M.; LARSEN, R. E. und LANNING, N. M. (1980): Prediction of silage digestibility and intake by chemical analyses or in vitro fermentation techniques. *J. of Dairy Sci.* **63** (4), 579.

- JUNG, H. G. und G. C. FAHEY, Jr (1983a): Nutritional implications of phenolic monomers and lignin: A review. *J. Anim. Sci.*, **57**, 206-219
- JUNG, H. G. und G. C. FAHEY, Jr (1983b): Interactions among phenolic monomers and in vitro fermentation. *J. Dairy Sci.*, **66**, 1255-1265.
- JUNG, H. G.; G. C. FAHEY, Jr und J. E. GARST (1983c): Simple phenolic monomers of forages and effects of in vitro fermentation on cell wall phenolics. *J. Anim. Sci.*, **57**, 1294-1305.
- JUNG, H. G. und K. P. VOGEL (1986): Influence of lignin on digestibility of forage cell wall material. *J. Anim. Sci.*, **62**, 1703-1712.
- JUNG, H.G. (1989): Forage lignins and their effects on fiber digestibility. *Agron. J.*, **81**, 33-38
- JUNG, H.G. und D.A. DEETZ (1993): Cell wall lignification and degradability. *Lehrbuch: Forage cell wall structure and digestibility* (JUNG, H. G.; D. R. BUXTON; R. D. HATFIELD und J. RALPH), 315-346.
- JUNG, H.-J. G. und K. P. VOGEL (1992): Lignification of switchgrass (*Panicum virgatum*) and big bluestem (*Andropogon gerardii*) plant parts during maturation and its effect on fibre degradability. *J. Sci. Food Agric.*, **59**, 169-176
- JUNG, H.-J. G.; G. C. FAHEY, Jr und N. R. MERCHEN (1983d): Effects of ruminant digestion and metabolism on phenolic monomers of forages. *Br. J. Nutr.*, **50**, 637-651.
- KÄDING, H.; G. WEISE; W. KREIL und K. D. ROBOWSKY (1990a): Zur Futterqualität von Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea* L.) auf Graslandstandorten. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau Bodenkd.*, **34**, 497-500.
- KÄDING, H.; G. WEISE; W. KREIL; O. KNABE; K. D. ROBOWSKY und R. SCHUPPENIES (1990b): Wert der Quecke (*Agropyron repens* L.) auf Graslandstandorten. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau Bodenkd.*, **34**, 723-728.
- KÄDING, H. und W. KREIL (1990): Optimale Nutzung und Bewirtschaftung von Rohrglanzgrasbeständen. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau Bodenkd.*, **34**, 489-495.
- KÄDING, H.; KREIL, W. und LEIPNITZ, W. (1991): 30 Jahre Stickstoffdüngung auf Niedermoor. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.*, **4**, 131-134.
- KÄDING, H.; G. SCHALITZ und W. LEIPNITZ (1993): Veränderungen der Gehalte an pflanzlichen Inhaltsstoffen durch extensive Bewirtschaftung von Niedermoorgrünland. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **39**, 157-167.
- KAISER, E. (1998): Prüfung und Bewertung von Methoden zur Schätzung des energetischen Futterwertes von Grünlandaufwüchsen bei unterschiedlicher Nutzungsintensität, Abschlußbericht, 2-7; 18-94.
- KALTOFEN, H. (1988): Warum steigert Stickstoffdüngung oft den Ligningehalt von Gräsern ? *Arch. Acker- u. Pflanzenbau Bodenkd.*, **32**, 255-260.
- KATO, Y. und D. J. NEVINS (1985): Isolation and identification of 0-(5-0-Feruloyl- $\alpha$ -L-Arabinofuranosyl)-(1-3)-0- $\beta$ -D-Xylopyranosyl-(1-4)-D-Xylopyranose as a component of Zea shoot cell walls. *Carbohydr. Res.*, **137**, 139-150
- KELLNER, R. J. und M. KIRCHGESSNER (1976): Zur Methodik der in vitro-Verdaulichkeitsbestimmung von Grün- und Rohfutter mit Cellulase. *Landw. Forschung* **20** (3/4), 204.
- KIRCHGESSNER, M. und R. J. KELLNER (1981): Zur Schätzung energetischer Futterwerte von Mischfuttermitteln für Rinder. *Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde*, **45**, 9-16.
- KITTMANN, U. und DYCKMANS, A. (1990): Extensive Grünlandbewirtschaftung - Auswirkung auf den Futterwert und die Konservierungseignung, 1. Teil: Auswirkung auf den Futterwert. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Tagungsbericht 102-109.
- KITTMANN, U. und KORNER, A. (1991): Dynamik der Qualitätsentwicklung von ausgewählten Arten des Extensivgrünlandes. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.*, **4**, 179-181
- KÜHBAUCH, W. (1988): Pflöglicher Umgang mit dem Naturhaushalt – Möglichkeiten und Grenzen der Grünlandextensivierung. In: Laufener Seminarbeiträge, **88**, 14-22.

- KÜHBAUCH, W. und G. VOIGTLÄNDER (1979): Veränderungen des Zellinhaltes, der Zellwandzusammensetzung und der Verdaulichkeit von Knautgras (*Dactylis glomerata* L.) und Luzerne (*Medicago varia* Martyn) während des Wachstums. *Z. Acker- und Pflanzenbau*, **148**, 455-466
- KÜHBAUCH, W. und L. PLETTL (1981): Berechnung der Futterqualität bei Weissklee, Rotklee und Luzerne nach morphologischen Kriterien und / oder aus Pflanzeninhaltsstoffen, I. Mitteilung "Berechnung der Futterqualität aus der Stengellänge oder aus dem Zellwandgehalt der Stängel". *Z. Acker- und Pflanzenbau*, **150**, 271-280
- KÜHBAUCH, W.; G. VERCH und F. BACH (1994): Veränderung der Vegetation von intensiv bewirtschaftetem Grünland nach der Umstellung auf extensive Wiesenutzung. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **40**, 101-110
- KÜHBAUCH, W.; P. DAHMEN, und U. THOME (1991): Veränderungen der Grundfutterproduktion als Folge einer Umstellung von konventioneller Mähweidenutzung auf extensive Schnittnutzung auf dem Standort Rengen. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **37**, 100-112.
- KUHLA, S. und F. WEISSBACH (1993): Die Nutzung einer Cellulase-Methode zur Schätzung des energetischen Futterwertes von Mischfuttermitteln für Wiederkäuer und Schweine. Kongreßband, VDLUFA-Schriftenreihe, **37**, 385-388.
- KUHLA, S.; F. WEISSBACH, und L. SCHMIDT (1994): Die Nutzung einer Cellulase-Methode zur Schätzung des energetischen Futterwertes von Gras und Grasproduktion. Kongreßband, VDLUFA-Schriftenreihe, **38**, 469-472.
- LEIPNITZ, W. und W. PEYKER (1992): Wachstums- und Entwicklungsverlauf bei Mais in Abhängigkeit von Witterungsfaktoren auf einem Standort in Thüringen. 1. Mitteilung; *Das Wirtschaftseigene Futter*, **38**, 202-211.
- LEX, J. und U. SIMON (1995): Zum Einfluß der Mischungspartner und der Nutzungsintensität auf Ertragsbildung und Futterwert von Weißklee-Gras-Gemengen. 2. Mitteilung: Qualitätsparameter der Erntemasse. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **41**, 81-98.
- LINDGREN, E.; THEANDER, O. und ÅMAN, P. (1980): Chemical composition of timothy at different stages of maturity and of residues from feeding value determinations. *Swedish J. Agric. Res.*, **10**, 3-10.
- LOWRY, J. B., E. A. SUMPTER, C. S. MCSWEENEY, A. C. SCHLINK und B. BOWDEN (1993): Phenolic acids in the fibre of some tropical grasses, effect on feed quality, and their metabolism by sheep. *Aust. J. Agric. Res.*, **44**, 1123-1133.
- LUNDQUIST, K.; SIMONSON, R.; TINGSVIK, K. (1980): Studies on lignin carbohydrate linkages in milled wood lignin preparations. *Svensk Papperstid* **83**: 452-455.
- MANGAN, J. L. (1988): Nutritional effects of tannins in animal feeds. *Nutr. Res. Rev.* **1**, 209-231.
- MARTIN, S. A. und D. E. AKIN (1988): Effect of phenolic monomers on the growth and  $\beta$ -glucosidase and activity of *Bacteroides ruminicola* and on the carboxymethylcellulase,  $\beta$ -glucosidase, and xylanase activities of *bacteroides succinogenes*. *Appl. Environ. Microbiol.* **54**, 3019-3023.
- MENKE, K. H. (1979a): The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *J. agric. Sci. Camb.* **93**, 217.
- MENKE, K. H. (1979b): Die Bestimmung des Gehaltes an Stäركeeinheiten und umsetzbare Energie im Hohenheimer Futterwerttest. *Der Tierzüchter* **31**, 20.
- MENKE, K. H. und H. STEINGASS (1987): Schätzung des energetischen Futterwertes aus der in vitro mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse. 2. Mitteilung: Regressionsgleichungen. *Übersicht zur Tierernährung*, **14**, 53-94.
- MIKA, V.; C. PAUL; E. ZIMMER und W. KAUFMANN (1981): Ein Vergleich verschiedener Labormethoden zur Schätzung der Verdaulichkeit von Grundfutter. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* **45**, 132-141.

- MOHR, H. und P. SCHOPFER (1992): Lehrbuch: Pflanzenphysiologie. Springer Verlag, Berlin, 28-37.
- MORRIS, E. J. (1980): The cell walls of *Eragrostis tef*: variations in chemical composition and Digestibility. *J. agric. Sci. Camb.*, **95**, 305-311.
- MORRIS, E. J. und J. S. D. BACON (1976): Digestion of acetyl groups and cell wall polysaccharides of grasses in the rumen. *Proc. Nutr. Soc.*, **35**, : 94 A.
- MORRIS, E. J. und J. S. D. BACON (1977): The fate of acetyl groups and sugar components during the digestion of grass cell walls in sheep. *J. agric. Sci., Camb.*, **89**, 327-340.
- MORRIS, E. J. und N. O. van GYLSWYK (1980): Comparison of the action of rumen bacteria on cell walls from *Eragrostis tef*. *J. agric. Sci. Camb.*, **95**, 313-323.
- MORRISON, I. M. (1973): Isolation and analysis of lignin-carbohydrate complexes from *Lolium multiflorum*. *Phytochemistry*, **12**, 2979-2984.
- MORRISON, I. M. (1974a): Structural investigations on the lignin-carbohydrate complexes of *Lolium perenne*. *Biochem. J.*, **139**, 197-204.
- MORRISON, I. M. (1983): The effect of physical and chemical treatments on the degradation of wheat and barley straws by rumen liquor-pepsin and pepsin-cellulase systems. *J. Sci. Food Agric.* **34**, 1323-1329.
- MUELLER-HARVEY, I. und R. D. HARTLEY (1986): Linkage of p-coumaroyl and feruloyl groups to cell wall polysaccharides of barley straw. *Carbohydr. Res.*, **148**, 71-85.
- MÜLLER, A. (1985): Auswirkungen langjähriger PK- und NPK-Düngung auf Pflanzenbestand und Ertrag in Abhängigkeit vom Standort. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **31**, 150-164.
- NANDRA, K. S.; B. K. GUPTA und A. K. CHOPRA (1983): The Effect of Stage of Maturity on The Digestion of Hemicelluloses of Sorghum. *J. Sci. Food Agric.*, **34**, 962-964.
- NAUMANN, C. und R. BASSLER (1976): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Methodenbuch Band III, VDLUFA-Verlag Darmstadt.
- NEFF, R. (1991): Zum Problem der Futterbewertung bei sehr später Nutzung. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Tagungsbericht, 13-21.
- NEILSON, M. J. und G. N. RICHARDS (1978): The fate of the soluble lignin-carbohydrate complex produced in the bovine rumen. *J. Sci. Food Agric.*, **29**, 513-519.
- NELSON, C. J. und L. E. MOSER (1994): in: Forage Quality, Evaluation, and Utilization. G. C. ED. FAHEY, JR.: printed in USA, 115-142.
- NITSCHKE, S. und NITSCHKE, L. (1994): Extensive Grünlandnutzung. Lehrbuch, Neumann Verlag, 13-142.
- NORDKVIST, E. und P. ÅMAN (1986): Changes during growth in anatomical and chemical composition and in vitro degradability of lucerne. *J. Sci. Food Agric.*, **37**, 1-7.
- NORDKVIST, E. (1987): Composition and degradation of cell walls in red clover, lucerne and cereal straw. *The Swedish University of Agricultural Sciences*, 7-51.
- OPITZ v. BOBERFELD, W. (1994): Grünlandlehre. Ulmer Verlag Stuttgart, 11-290.
- POTTHAST, V.; H. SPIEKERS; R. HAVERKAMP und E. PFEFFER (1994): Vergleich verschiedener Methoden zur Schätzung des Nettoenergie-Gehaltes von Mischfutter für Wiederkäuer auf der Basis von Verdauungsversuchen. Kongreßband, VDLUFA-Schriftenreihe, **38**, 461-464.
- POUTANEN, K. und PULS, J. (1989): The xylanolytic enzyme system of *Trichoderma reesei*. In: LEWIS, N. G. und PAICE, M. G. (Eds.), *Plant Cell Wall Polymers, Biogenesis and Biodegradation*, **ACR Symp. Ser. 399**, American Chemical Society, Washington, 630-640.
- REED, J. D.; H. SOLLER und A. WOODWARD (1990): Fodder tree and straw diets for sheep intake, growth, digestibility and the effects of phenolics on nitrogen utilization. *Anim. Feed Sci. Technol.* **30**, 39-50.
- RICHTER, G. (1988): Stoffwechselphysiologie der Pflanzen. Das Lehrbuch, Georg Thieme - Verlag Stuttgart.

- RIEDER, J. B. (1989): Die Leistungshäufigkeit von Weißklee - Sein Beitrag zur Ertragsleistung von Dauergrünland-Neuansaat - 4. Mitteilung: Standorte Kempten im Allgäuer Voralpenland und Steinach im Vorwald des Bayerischen Waldes. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **35**, 79-93.
- RITTNER, U. und J. D. REED (1992): Phenolics and in vitro degradability of protein and fibre in West African browse. *J. Sci. Food Agric.* **58**, 21-28.
- ROBOWSKY, K. D. (1994): Die Schätzung der verdaulichen organischen Masse von Grünlandbeständen mit Hilfe einer Cellulasemethode. Kongressband, VDLUFA-Schriftenreihe, **38**, 465-468.
- RODEHUTSCORD, M.; BECKER, A. und PFEFFER, E. (1993): Eignung verschiedener Schätzverfahren zur Bestimmung des Energiegehaltes extensiv erzeugten Heus. Kongressband, VDLUFA-Schriftenreihe, **37**, 381-384.
- RODEHUTSCORD, M.; H. HANSEN; M.; SAAKEL; O. SCHRIEVER und E. PFEFFER. (1994): Untersuchungen zum Energiegehalt des Heus von langfristig extensiv genutzten Flächen. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **40**, 266-276.
- ROHR, K. und M. WERMKE (1985): Einfluß der Bestandesdichte auf die Ertragsleistung, Siliereignung und den Futterwert von Silomais. 2. Mitteilung: Verdaulichkeit, Fermentationsvorgänge im Pansen und Wiederkäuer. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **31**, 35-44.
- ROTH, L.; M. DAUNDERER und K. KORMANN (1988): Giftpflanzen. Pflanzengifte 3. Auflage, Verlag Ecomed, Landsberg und München, 15-63.
- SALEWSKI, A. (1972): Die Bestimmung der Detergenzfaser in Rauhfuttern, deren Beziehung zur Verdaulichkeit der organischen Substanz. *Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde*, **29**, 50-51.
- SCALBERT, A.; B. MONTIES; J. Y. LALLEMAND; E. GUITTET und C. ROLAND (1985): Ether linkage between phenolic acids and lignin fractions from wheat straw. *Phytochemistry*, **24**, 1359-1362.
- SCHALITZ, G. und R. PÖTZSCH (1990): Zur Bewertung des Weißklee bei Neuansaat von Mittelgebirgsgrünland. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **36**, 222-235.
- SCHÖNER, F. J. und E. PFEFFER (1985a): Zur Schätzung des energetischen Futterwertes im Grundfutter. 1. Mitteilung: Zellwandfraktionen der Detergentien-Analyse. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **31**, 80-86.
- SCHÖNER, F. J. und E. PFEFFER (1985b): Zur Schätzung des energetischen Futterwertes im Grundfutter. 3. Mitteilung: Vergleich von verschiedenen Schätzverfahren und Empfehlungen für den praktischen Einsatz. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **31**, 134-138.
- SCHÖNER, F. J.; A. LEMM und E. PFEFFER (1985): Zur Schätzung des energetischen Futterwertes im Grundfutter. 2. Mitteilung: Enzym-Methode. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **31**, 127-133.
- SCHRÖDER, F. und G. ADOLF (1997): Der Einfluss des Schnittzeitpunktes im ersten Aufwuchs und unterschiedlich langer Nachwuchsdauer im zweiten Aufwuchs auf Bestandsentwicklung, Ertrag und Futterqualität der Grasart *Alopecurus pratensis* L. in Abhängigkeit vom Standort. *Das Wirtschaftseigene Futter* **43**, 83-96.
- SMITH, L. W.; H. K. GOERING; D. R. WALDO und C. H. GORDON (1970): In vitro digestion rate of forage cell wall components. *J. Dairy Sci.*, **54**, 71-76.
- SMITH, L. W.; H. K. GOERING und C. H. GORDON (1972): Relationships of forage compositions with rates of cell wall digestion and indigestibility of cell walls. *J. Dairy Sci.*, **55**, 1140-1147.
- SMITH, MERYL M. und R. D. HARTLEY (1983): Occurrence and nature of ferulic acid substitution of cell-wall polysaccharides in graminaceous plants. *Carbohydr. Res.*, **118**, 65-80.
- SPATZ, G.; H. J. ABEL; T. FRICKE und A. DEBALQUE (1991): Untersuchungen zur Ermittlung des Futterwertes spät geschnittener Grünlandaufwüchse mit unterschiedlichen Methoden. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **37**, 218-231.
- SPATZ, G. und FRICKE, T. (1992): Quantitatives und qualitatives Ertragsverhalten unterschiedlich spät geschnittener Grünlandbestände. *Agribiol. Res.* **45**, 121-130.



- STÄHLIN, A. (1971): Gütezahlen von Pflanzenarten in frischem Grundfutter. Das Wirtschaftseigene Futter, **Heft 5**.
- STEINGASS, H. und MENKE, K. H. (1986): Schätzung des energetischen Futterwertes aus der in vitro mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse. 1. Untersuchungen zur Methode. Übers. Tierernährg., **14**, 251-270.
- SÜDEKUM, K. H. (1989): Untersuchungen an Milchkühen zum Ausmaß und Ort der Verdauung von Zellwandkohlenhydraten. Dissertation, (Institut für Tierernährung und Futtermittelkunde der) Christian-Albrechts-Universität, Kiel, 1-39; 59-100.
- SÜDEKUM, K.-H.; F. TAUBE und M. WÖRNER (1990): Einfluß der botanischen Zusammensetzung (Weißkleeanteil) auf die Veränderung des energetischen Futterwertes im Zuwachsverlauf von Dauergrünlandbeständen. Kongreßband 102. VDLUFA -Schriftenreihe, **32**, 469-474.
- SÜDEKUM, K. H.; H. RÖH; M. BRANDT und K. DREPPER (1991): Einfluß des Reifegrades von Winterweizen und des Fütterungsniveaus auf die Verdaulichkeiten verschiedener Zellwandfraktionen in Winterweizen-Ganzpflanzensilage-Rationen bei Schafen und Rindern. Kongreßband 103 VDLUFA -Schriftenreihe, **33**, 397-402.
- SÜDEKUM, K. H.; F. TAUBE; M. WÖRNER und K. PABST (1994): Slot-seeding of white clover into a permanent pasture: im pact on nutritive value estimated in vivo and in vitro. Das Wirtschaftseigene Futter **40**, 129-141.
- SÜDEKUM, K. H. und SCHRÖDER, A. (1995): Sukzessive versus abrupte Extensivierung von Grünlandflächen: Einfluß auf in vivo und in vitro ermittelte Futterwertparameter. 107. VDLUFA-Kongresses, Schriftenreihe **40**, 437-440.
- SÜDEKUM, K. H.; A. OESTMANN und M. STANGASSINGER (1995): Zur Rolle von Lignin und phenolischen Monomeren in Futtermitteln für Wiederkäuer . II. Einfluss auf die Verdauung pflanzlicher Gerüstsubstanzen. Übers. Tierernährg. **23**, 229-260.
- TAUBE, F. ; M. WÖRNER und K.-H. SÜDEKUM (1990): Veränderungen ausgewählter Qualitätsparameter im Zuwachsverlauf von Dauergrünlandbeständen in Abhängigkeit von der botanischen Zusammensetzung (Weißkleeanteil). Kongreßband 102. VDLUFA-Schriftenreihe, **32**, 463-468, Berlin.
- TERASHIMA, N.; K. FUKUSHIMA; L.-F. HE und K. TAKABE (1993): Comprehensive model of the lignified plant cell wall, Printed in: Forage cell wall structure and digestibility (JUNG, H. G.; D. R. BUXTON; R. D. HATFIELD und J. RALPH), Madison, Wisconsin USA, 247-266.
- THEANDER, O.; P. UDEN und P. A°MAN (1981): Acetyl and phenolic acid substituents in tymothy of different maturity and after digestion with rumen microorganisms or a commercial cellulase. Agriculture and Environment **6**, 127-133.
- TILLEY, J. M. A. und TERRY, R. A. (1963): A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. J. Brit. Grassl. Soc. **18**, 104-111.
- TITGEMEYER, E. C.; M. G. CAMERON; L. D. BOURQUIN und G. C. FAHEY, JR. (1991): Digestion of cell wall components by dairy heifers fed diets based on alfalfa and chemically treated oat hulls. J. Dairy Sci., **74**, 1026-1037.
- TWIDWELL, E.K.; D. JOHNSON; J. H.CHERNEY und J. J. VOLENEC (1988): Forage quality and digestion kinetics of switchgrass herbage and morphological components. Crop Sci., **28**, 778-782
- VAN SOEST, P. J. (1967): Development of a comprehensive system of feed analyses and its applicatiion to forages. J. Anim. Sci., **26**, 119-128.
- VAN SOEST, P. J. (1983): Nutritional ecology of the Ruminant. Cornell University, O & B BOOKS, Inc. United States of America, 86-89, 118-138.
- VAN SOEST, P. J. (1994): Nutritional Ecology of the Ruminant. Cornell University, O & B BOOKS, Inc. United States of America, .
- VAN SOEST, P. J.; D. R. MERTENS und B. DENIUM (1978): Preharvest factors influencing quality of conserved forage. J. Anim. Sci., **47**, 712-720.

- VERCH, G. und W. KÜHBAUCH (1994): Veränderung der botanischen Zusammensetzung und der Futterqualität einer Feuchtwiese unter dem Einfluss extensiver Wiesenutzung. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **40**, 242-251.
- VOIGT, K.; F. J. SCHWARZ und M. KIRCHGEßNER (1998): Vergleichende Untersuchungen zum Futterwert einer Gräserreinsaat- bzw. Gräser-Weißklee-Weide. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, **7**, 28.
- VOIGTLÄNER, G. und F. MÄDEL (1981): Wirkung gesteigerter N-Gaben mit und ohne Beregnung auf Ertrag, Pflanzenbestand und Futterqualität von mehrjährigem Weißklee gras. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **27**, 89-103.
- VOIGTLÄNER, G. und H. JACOB (1987): Lehrbuch: Grünlandwirtschaft und Futterbau. Verlag Ulmer, Stuttgart, 39-113.
- VOIGTLÄNER, G. und N. VOSS (1979): Methoden der Grünlanduntersuchung und -bewertung. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 151-159.
- WAITE, R.; M. J. IOHNSTON und D. G. ARSTRONG (1964): The evaluation of artificially dried grass as a source of energy for sheep. I. The effect of stage of maturity on the apparent digestibility of rye-grass, cocksfoot and timothy. *J. Agric. Sci.*, **62**, 391-398.
- WAITE, R. und A. R. N. GORROD (1959a): The Structural Carbohydrates of Grasses. *J. Sci. Food Agric.*, **10**, 308-317.
- WAITE, R. und A. R. N. GORROD (1959b): The Comprehensive Analysis of Grasses. *J. Sci. Food Agric.*, **10**, 317-326.
- WEDIG, C. L.; E. H. JASTER und K. J. MOORE (1986): Composition and Digestibility of Alfalfa and Orchardgrass Hemicellulose Monosaccharides by Holstein Steers. *J. Dairy Sci.*, **69**, 1309-1316.
- WEDIG, C. L.; E. H. JASTER und K. J. MOORE (1987): Hemicellulose Monosaccharide Composition and in Vitro Disappearance of Orchard Grass and Alfalfa Hay. *J. Agric. Food Chem.*, **35**, 214-218.
- WEISSBACH, F.; S. KUHLA und L. SCHMIDT (1996): Schätzung der umsetzbaren Energie von Grundfutter mittels einer Cellulase-Methode. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, **5**, 115.
- WEISSBACH, F.; S. KUHLA; L. SCHMIDT und A. HENKELS (1999): Schätzung der Verdaulichkeit und der umsetzbaren Energie von Gras und Grasprodukten. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, **8**, 72.
- WERMKE, M. und K. ROHR (1985): Einfluß der Bestandesdichte auf die Ertragsleistung, Siliereignung und den Futterwert von Silomais. 1. Mitteilung: Trockenmasse- und Energieertrag, stoffliche Zusammensetzung und Silagequalität. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **31**, 20-34.
- WILKIE, K. C. B. (1979): The Hemicelluloses of grasses and cereals. *Adv. Carbohydr. Chem. Biochem.*, **36**, 215-264.
- WILMAN, D. und M. A. K. ALTIMIMI (1982): The digestibility and chemical composition of plant parts in italian and perennial ryegrass during primary growth. *J. Sci. Food Agric.*, **33**, 595-60.
- WINKLER, L. und J. NÖSBERGER (1985): Einfluss der Schnitthäufigkeit und N-Düngung auf die Bestandesstruktur und die vertikale Verteilung von Weißklee (*Trifolium repens* L.) in einer Dauerwiese. *Z. Acker- und Pflanzenbau* **155**, 43-50.
- WOLF, R. und G. BRIEMLE (1989): Landwirtschaftliche verwertungsmöglichkeiten von pflanzenaufwüchsen aus extensiviertem grünland und aus der biotoppflege. *Das Wirtschaftseigene Futter*, **35**, 108-125.
- WULFES, R. ; A. KORNER; B. REUTHER und F. TAUBE (1991): Veränderung ausgewählter Futterqualitätsparameter im Zuwachsverlauf des Deutschen Weidelgrases in Abhängigkeit von Sortentyp und Stickstoffdüngung. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* **4**, 183-186.
- ZWIERZ, P.; S. KUHLA und F. WEISSBACH (1981): Zur Schätzung des energetischen Futterwertes anhand von analytisch bestimmaren Kriterien. 1. Mitteilung: Prüfung eines Vorschlages zur Veränderung der Weender Futtermittelanalyse. *Arch. Tierernähr.* **31**, 395-401.

## Abkürzungsverzeichnis für Anhangstabelle

ADF	Säure-Detergentien-Faser (Acid detergent fibre)
ADL	Säure-Detergentien-Lignin (Acid detergent lignin)
Ara	Arabinose
Cellul.	Cellulose
ELOS	Enzymlösbare organische Substanz
EuLOS	Enzymunlösbare organische Substanz
FA	Ferulasäure
Gb	Gasbildung aus HFT
ges. Lign	Gesamt lignin
Hemi.	Hemicellulose
lös. Lign	säurelösliches Lignin
M	Mittelwert
ME	Umsetzbare Energie (metabolizable energy)
ME ELOS	geschätzte Umsetzbare Energie nach ELOS-Gleichung
ME EuLOS <sup>96</sup>	geschätzte Umsetzbare Energie nach EuLOS-Gleichung von 1996
ME EuLOS <sup>99</sup>	geschätzte Umsetzbare Energie nach EuLOS-Gleichung von 1999
ME HFT	geschätzte Umsetzbare Energie nach HFT-Formel
MEin vivo	in vivo Umsetzbare Energie
ME XF	geschätzte Umsetzbare Energie nach Rohnährstoffgleichungen
NDF	Neutral-Detergentien-Faser (Neutral detergent fibre)
OS	Organische Substanz
pCA	p-Cumarsäure
TS-Verl.	Der Verlust der Trockensubstanz im Pansen
sd	Standardabweichung der Differenzen
unl. Rest	Der unlösliche Rest aus HFT
VQ <sub>ADF</sub>	Verdaulichkeitsquotient der Säure-Detergentien-Faser
VQ <sub>ADL</sub>	Verdaulichkeitsquotient des Säuren-Detergentien-Lignins
VQ <sub>XF</sub>	Verdaulichkeitsquotient der Rohfaser
VQ <sub>NDF</sub>	Verdaulichkeitsquotient der Neutral-Detergentien-Faser
VQ <sub>OS</sub>	Verdaulichkeitsquotient der organischen Substanz
VQ <sub>XP</sub>	Verdaulichkeitsquotient des Rohproteins
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XP	Rohprotein
Xyl	Xylose

## **8 Selbständigkeitserklärung**

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Berlin, den 13.05.2002

Pramol Meak

## 9 Anhang

Anhangstabelle 1: Flächendeckungsanteile der bestandsbildenden Pflanzengruppen, alle Flächen

	Nutzungsvariante														
	A					B					C				
	E/96	A/97	E/97	A/98	E/98	E/96	A/97	E/97	A/98	E/98	E/96	A/97	E/97	A/98	E/98
<b>Fläche 5</b>															
Deckungsgrad (gesamt) %	97	97	96	98	90	98	97	97	97	99	95	96	94	97	97
davon Gräser	93	94	90	89	75	42	69	57	63	81	60	65	76	73	78
Leguminosen	4	3	5	5	9	56	28	39	31	15	35	31	16	20	8
Kräuter			1	4	5			1	4	3			2	4	11
Lücken (%)	3	3	4	2	10	2	3	3	3	1	5	4	6	3	3
<b>Fläche 6</b>															
Deckungsgrad (gesamt) %	84	96	95	97	90	94	96	96	98	98	82	96	84	97	93
davon Gräser	62	89	83	91	87	36	80	68	72	71	34	79	63	78	79
Leguminosen	22	6	11	3	2	58	16	25	20	23	48	17	21	17	9
Kräuter	0	1	1	3	2	v	v	3	6	3	v	v	v	2	5
Lücken (%)	16	4	5	3	10	6	4	4	2	2	18	4	16	3	7
<b>Fläche 7</b>															
Deckungsgrad (gesamt) %	89	93	94	100	98	94	89	92	95	96	87	85	86	82	94
davon Gräser	89	91	92	96	92	90	84	84	79	60	86	81	82	65	48
Leguminosen	<1	1	1	1	1	4	4	5	7	24	1	2	v	1	38
Kräuter	0	1	1	3	5	v	1	3	9	7	v	2	4	16	5
Lücken (%)	11	7	6	0	3	6	11	8	5	4	13	15	14	18	6
														#	+

# davon sind 9 % von Moos bedeckt; + davon sind 4 % von Moos bedeckt; v: Vorkommen

Datum der Bestandsaufnahmen:

E/96: 06.11.1996

A/97: 24.04.1997

E/97: 07.11.1997

A/98: 22.04.1998

E/98: 06.11.1998

E: Ende; A: Anfang

Anhangstabelle 2: Flächendeckungsanteile einzelner Pflanzenarten (Fläche 5)

Pflanzenart	Nutzungsvariante														
	A					B					C				
	E/ 96	A/ 97	E/ 97	A/ 98	E/ 98	E/ 96	A/ 97	E/ 97	A/ 98	E/ 98	E/ 96	A/ 97	E/ 97	A/ 98	E/ 98
Deutsches Weidelgras	v	7	28	45	39	v	4	14	23	37	v	2	11	28	23
Wiesenlieschgras	v	2				v									
Wiesenrispe	v	80	53	32	26	v	64	34	28	35	v	62	50	26	31
Rotschwingel	v	1	3	v	6	v	1	9	10	9	v	v	9	12	19
Knautgras	v	4	4	7	5						v				3
Quecke			1	v		v			v		v	1	6	7	2
Glatthafer			2	4	2										
Weißklee	v	3	5	5	9	v	28	39	31	15	v	31	16	20	8
Löwenzahn	v	v	v	3	3	v	v	1	2	3			2		11
Distel						v		v	2						
Reiherschnabel	v		v	1											
Anzahl der Arten (gesamt)	10	7	9	9	8	8	5	6	7	5	6	5	6	7	7

v: Vorkommen

Datum der Bestandsaufnahmen:

E/96: 06.11.1996

A/97: 24.04.1997

E/97: 07.11.1997

A/98: 22.04.1998

E/98: 06.11.1998

E: Ende; A: Anfang

Anhangstabelle 3: Flächendeckungsanteile einzelner Pflanzenarten (Fläche 6)

Pflanzenart	Nutzungsvariante														
	A					B					C				
	E/ 96	A/ 97	E/ 97	A/ 98	E/ 98	E/ 96	A/ 97	E/ 97	A/ 98	E/ 98	E/ 96	A/ 97	E/ 97	A/ 98	E/ 98
Deutsches Weidelgras	v	61	33	41	43	v	53	10	42	25	v	46	3	35	10
Wiesenlieschgras	v	10	3	12	5	v	10	6	11	15	v	28	3	18	21
Wiesenrispe	v	17	37	25	32	v	14	34	7	18	v	2	7	2	9
Rotschwingel		1	3	6	6		2	6	5	5	v	v	2	3	3
Glatthafer			7	6	1			10	7	9	v	v	37	20	31
Gemeine Rispe				1		v	1				v	v	6		
Schafschwingel	v	v				v	v	1				1			
Knautgras				v	1			v	v			1	1		3
Quecke								1			v	v	4		
Weissklee	v	6	11	3	2	v	15	23	19	23	v	17	21	17	9
Rotklee						v	1	2	1						
Löwenzahn		1		2	2	v	v	3	6	3	v	v	v	2	5
Anzahl der Arten (gesamt)	6	8	10	13	8	8	10	11	9	7	9	11	10	7	8

v: Vorkommen

Datum der Bestandsaufnahmen:

E/96: 06.11.1996

A/97: 24.04.1997

E/97: 07.11.1997

A/98: 22.04.1998

E/98: 06.11.1998

E: Ende; A: Anfang

Anhangstabelle 4: Flächendeckungsanteile einzelner Pflanzenarten (Fläche 7)

Pflanzenart	Nutzungsvariante														
	<b>A</b>					<b>B</b>					<b>C</b>				
	E/ 96	A/ 97	E/ 97	A/ 98	E/ 98	E/ 96	A/ 97	E/ 97	A/ 98	E/ 98	E/ 96	A/ 97	E/ 97	A/ 98	E/ 98
Deutsches Weidelgras	v	2	2	2	5	v	1	6	4	6	v	1,5	2	2	3
Rohrschwinkel	v	88	85	92	76	v	82	75	73	48	v	80	77	63	45
Knaulgras		0,5	1			v					v	v			
Gemeine Rispe	v	1	4	2	5			1	2	1			v		1
Wiesenrispe				v	6			2		6			2		3
Weissklee	v	1	1	1	1	v	4	5	7	27	v	2	v	1	38
Löwenzahn	v	0,5	1	3	5	v	v	3	9	7	v	1,5	4	16	5
Schafgarbe	v					v	0,5	v							
Vogelmiere	v	v													
Wiesenknopf	v	v													
Wiesenehrenpreis	v		v			v									
Rainfarn								v	v	v					
Anzahl der Arten (gesamt)	11	8	7	6	6	6	5	8	7	7	5	5	8	4	6

v: Vorkommen

Datum der Bestandsaufnahmen:

E/96: 06.11.1996

A/97: 24.04.1997

E/97: 07.11.1997

A/98: 22.04.1998

E/98: 06.11.1998

E: Ende; A: Anfang



Anhangstabelle 5: Der Ertragsanteil (%) vor jedem Schnitt aller Varianten und Flächen

Pflanzenart	Versuchsjahr und Nutzungsvariante																	
	96		97		98		96		97		98		96		97		98	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Fläche 5																		
Wiesenrispe	83	15	49	19	27	35	89	70	41	12	26	25	85	30	42	45	30	35
D.Weidelgras		83	22	57	39	41		8	3	16	34	36	1	2	7	4	20	16
Rt.schwingel			14	9	11	10			6	8	18	14			14	20	22	17
Quecke					4	4					3	3					12	8
Weissklee	10		5	7	3	3	5	15	40	56	8	9	8	55	27	16	6	6
andere Arten*	7	2	10	8	9	2	6	7	10	8	11	13	6	13	10	15	10	18#
Gräser	83	98	92	91	92	93	93	80	54	39	85	84	90	43	71	81	87	81
Leguminosen	15	1	6	7	5	4	5	15	40	56	10	11	10	55	27	17	10	10
Kräuter	2	1	2	2	3	3	2	5	6	5	5	5	0	2	2	2	3	9
Fläche 6																		
W.lieschgras	75	55	17	15	15	13	81	50	34	27	23	20	33	25	33	29	30	15
D.Weidelgras	5	35	22	31	25	29	5	23	8	17	13	17	15	20	3	5	3	4
Wiesenrispe	5	2	21	28	22	25	5	2	20	13	12	13	5	10	6	4	24	2
Rt.schwingel			8	8	6	7			7	4	4	7			4	5	4	3
Glatthafer	5	5	11	6	25	16	4	5	13	20	34	29	10	5	33	38	31	58
Quecke			4	1	3	4			1	1	1	+	30	5	12	7	5	4
Weissklee	10	3	13	10	1	1	5	15	14	14	6	10	4	30	7	8	2	6
andere Arten**			4	1	3	5		5	3	4	7	4	3	5	2	4	1	8
Gräser	90	97	84	89	97	98	95	83	84	82	88	87	96	67	92	90	98	93
Leguminosen	10	3	14	10	1	1	5	15	15	17	10	10	4	30	7	9	2	6
Kräuter	0	0	2	1	2	1	0	2	1	1	2	3	0	3	1	1	0	1
Fläche 7																		
Rohrschwingel	95	95	78	86	85	83	95	80	73	74	71	69	98	84	80	87	88	54
D.Weidelgras	5	5	3	4		6	5	15	1	1	1	9		13	4	5	2	3
G. Rispe			10	4	9	1			2		6	1					1	+
Knautgras			4	3	3	2		2	1	1	2	2	1		2	2	1	2
Weissklee			3	2	1	3		2	21	21	9	14		2	11	3	4	30
andere Arten***			2	1	2	5		1	2	3	7	5	1	1	3	3	4	11~
Gräser	100	100	95	97	97	92	100	97	77	76	84	81	99	97	86	94	92	59
Leguminosen	0	0	3	2	1	3	0	2	21	21	9	14	0	2	11	3	4	30
Kräuter	0	0	2	1	2	5	0	1	2	3	7	5	1	1	3	3	4	11

\* Knautgras, Glatthafer, Löwenzahn, Distel, W.lieschgras und Rotklee; # Löwenzahn 8 %

\*\* Knautgras, Löwenzahn, Distel, Rotklee, G. Rispe, W.schwingel, Honiggras, J.Rispe, Taubnessel, Vogelmiere und Schafgarbe;

\*\*\* Löwenzahn, Hirtentäschel, Schafgarbe, Distel, Rainfarn, Vogelmiere u. a.; ~ Löwenzahn 10 %

Anhangstabelle 6: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnittzeitpunkt, Fläche 5A

Pflanzen- art	1996						1997						1998					
	1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt		
	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad
Wiesen- rispe	50	83	I	41	15	I	90	49	IV	47	19	III	101	27	IV	55	35	I
Deutsches Weidelgras	*	*	*	41	83	I	90	22	I	47	57	III	101	39	III	55	41	IV
Rot- schwingel	*	*	*	*	*	*	90	14	IV	47	9	III	101	11	IV	55	10	I-IV
Knautgras	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	101	4	IV	55	2	I-IV
Quecke	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	101	4	II	55	4	IV
Weissklee	50	10	Blüte	*	*	*	90	5	Blüte	47	7	in Blüte	101	3	in Blüte	55	3	in Blüte

\* nicht vorhanden

Anhangstabelle 7: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnitzeitpunkt, Fläche **5B**

Pflanzen- art	1996						1997						1998					
	1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt		
	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad
Wiesen- rispe	58	89	II	62	70	II	97	41	IV	50	12	0/I	106	26	IV	58	25	0-I
Deutsches Weidelgras	*	*	*	62	8	II	97	3	I	50	16	IV	106	34	III	58	36	IV
Rot- schwingel	*	*	*	*	*	*	97	6	IV	50	8	IV	106	18	IV	58	14	0-I
Wiesen- lieschgras	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	58	3	IV
Knaulgras	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	106	2	III-V	58	2	0-IV
Quecke	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	106	3	III-V	58	3	IV
Glatthafer	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	106	2	IV	*	*	*
Weissklee	58	5	Blüte	62	15	in Blüte	97	40	Blüte	50	56	in Blüte	106	8	Blüte	58	9	Blüte

\* nicht vorhanden

Anhangstabelle 8: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnitzeitpunkt, Fläche 5C

Pflanzen- art	1996						1997						1998					
	1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt		
	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad
Wiesen- rispe	99	85	VII	97	30	0	140	42	VII	88	45	I	148	30	IV-V	85	35	0
Deutsches Weidelgras	99	1	VII	97	2	0	140	7	IV	88	4	I	148	20	IV-V	85	16	0
Rot- schwingel	*	*	*	*	*	*	140	14	VI	88	20	I	148	22	VII	85	17	0
Löwen- zahn	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	85	8	0
Knautgras	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	148	4	VII	85	4	0
Quecke	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	148	12	V	85	8	0
Glatthafer	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	85	1	0
Weissklee	99	8	in Blüte	97	55	Blüte	140	27	in Blüte	88	16	Blüte	148	6	Blüte	85	6	v.d. Blüte

\* nicht vorhanden

v.d. Blüte = vor der Blüte

Anhangstabelle 9: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnitzeitpunkt, Fläche 6A

Pflanzen- art	1996						1997						1998					
	1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt		
	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad
Wiesen- rispe	49	5	0	41	2	I	84	21	II	46	28	V	94	22	I	63	25	III
Deutsches Weidelgras	49	5	0	41	35	I	84	22	0	46	31	V	94	25	0	63	29	III
Wiesen- lieschgras	49	75	0	41	55	I	84	17	II	46	15	V	94	15	II	63	13	III
Rot- schwingel	*	*	*	*	*	*	84	8	0-II	*	*	*	94	6	IV	63	7	III
Knaulgras	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	94	1	IV	63	2	III
Glatthafer	49	5	0	41	5	I	84	11	II	46	6	V	94	25	III	63	16	III
Quecke	*	*	*	*	*	*	84	4	II	46	1	V	94	3	IV	63	4	III
Weissklee	49	10	Blüte	41	3	Blüte	84	13	Blüte	46	10	in Blüte	94	1	in Blüte	63	1	in Blüte

\* nicht vorhanden

Anhangstabelle 10: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnittzeitpunkt, Fläche **6B**

Pflanzen- art	1996						1997						1998					
	1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt		
	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad
Wiesen- rispe	50	5	0	62	2	I	96	20	IV	57	13	0	95	12	I	68	13	0-I
Deutsches Weidelgras	50	5	0	62	23	I	96	8	I	57	17	III	95	13	0	68	17	V
Rot- schwingel	*	*	*	*	*	*	96	7	III	57	4	0-III	95	4	III	68	7	0-VI
Wiesen- lieschgras	50	81	0	62	50	I	96	34	III	57	27	II	95	23	II	68	20	VI
Knaulgras	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	95	1	IV	68	1	0-VI
Quecke	*	*	*	*	*	*	96	1	III	57	1	III	95	1	IV	*	*	*
Glatthafer	50	4	0	62	5	I	96	13	IV	57	20	III	95	34	III	68	29	III
Weissklee	50	5	Blüte	62	15	Blüte	96	14	Blüte	57	14	Blüte	95	6	Blüte	68	10	Blüte

\* nicht vorhanden

Anhangstabelle 11: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnittzeitpunkt, Fläche 6C

Pflanzen- art	1996						1997						1998					
	1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt		
	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad
Wiesen- rispe	98	5	VII	91	10	I-V	132	6	VI	90	4	VI	150	24	VII	83	2	0
Deutsches Weidelgras	98	15	IV	91	20	I	132	3	V-VII	90	5	VI	150	3	V	83	4	0
Wiesen- lieschgras	98	33	V	91	25	V	132	33	V	90	29	VI	150	30	V	83	15	I
Rot- schwingel	*	*	*	*	*	*	132	4	V-VII	90	5	VI	150	4	V	83	3	0
Knautgras	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	150	1	VI	83	4	0
Quecke	98	30	IV	91	5	I-V	132	12	IV	90	7	VI	150	6	V	83	4	I
Glatthafer	98	10	VI	91	5	V	132	33	VII	90	38	VII	150	31	VII	83	58	VI
Weissklee	98	4	in Blüte	91	30	v.d. Blüte	132	7	in Blüte	90	8	v.d. Blüte	150	2	in Blüte	83	6	v.d. Blüte

\* nicht vorhanden

v.d. Blüte = vor der Blüte

Anhangstabelle 12: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnittzeitpunkt, Fläche 7A

Pflanzen- art	1996						1997						1998					
	1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt		
	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad
Rohr- schwingel	57	95	I	29	95	I	91	78	IV	35	86	0	99	85	IV	59	83	I
Deutsches Weidelgras	57	5	0	29	5	I	91	3	IV	35	4	0	*	*	*	59	6	III
Gemeine Rispe	*	*	*	*	*	*	91	10	IV	35	4	0	99	9	IV	59	1	0
Knautgras	*	*	*	*	*	*	91	4	IV	35	3	0	99	3	IV	59	3	0-I
Weissklee	*	*	*	*	*	*	91	3	Blüte	35	2	Blüte	99	1	Blüte	59	3	in Blüte

\* nicht vorhanden



Anhangstabelle 13: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnittzeitpunkt, Fläche 7B

Pflanzen- art	1996						1997						1998					
	1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt		
	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad
Rohr- schwingel	57	95	I	58	80	0	98	73	IV	56	74	0	100	71	IV	71	69	I
Deutsches Weidelgras	57	5	I	58	15	I	98	1	IV	56	1	0	100	1	IV	71	9	I
Gemeine Rispe	*	*	*	*	*	*	98	2	IV	*	*	*	100	6	IV	71	1	I
Knaulgras	*	*	*	58	2	0	98	1	IV	56	1	0	100	2	IV	71	2	0-I
Weissklee	*	*	*	58	2	Blüte	98	21	Blüte	56	21	Blüte	100	9	#	71	14	in Blüte

# Ende der Blüte

\* nicht vorhanden

Anhangstabelle 14: Pflanzenzusammensetzung, Ertragsanteil und Reifegrad zum Schnittzeitpunkt, Fläche 7C

Pflanzen- art	1996						1997						1998					
	1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt			1. Schnitt			2. Schnitt		
	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad	Alter in Tag	Ertrags- anteil %	Reife- grad
Rohr- schwingel	106	98	V	85	84	0	144	80	VI	94	87	I	151	88	VI	77	54	0
Deutsches Weidelgras	*	*	*	85	13	0	144	4	VI	94	5	I	151	2	IV	*	*	*
Gemeine Rispe	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	151	1	VII	*	*	*
Knautgras	106	1	VI	*	*	*	144	2	VI	94	2	I	151	1	VI	77	2	0
Weissklee	*	*	*	85	2	Blüte	144	11	#	94	3	in Blüte	151	4	in Blüte	77	30	B.d. Blüte

\* nicht vorhanden

B.d. Blüte = Beginn der Blüte

# Ende der Blüte

Anhangstabelle 15: Erntezeitpunkte und Alter der Pflanzen bei der Ernte (Wuchsdauer<sup>1</sup>)

Variante/ Aufwuchs	Versuchsfläche					
	5		6		7	
	Erntezeit	Wuchsdauer	Erntezeit	Wuchsdauer	Erntezeit	Wuchsdauer
<b>1996</b>						
<b>A</b>						
1.	22.05.	50	21.05.	49	29.05.	57
2.	02.07.	41	01.07.	41	27.06.	29
<i>Gesamt</i>		91		90		86
<b>B</b>						
1.	30.05.	58	22.05.	50	29.05.	57
2.	31.07.	62	23.07.	62	26.07.	58
<i>Gesamt</i>		120		112		115
<b>C</b>						
1.	10.07.	99	09.07.	98	17.07.	106
2.	15.10.	97	08.10.	91	10.10.	85
<i>Gesamt</i>		196		189		191
<b>1997</b>						
<b>A</b>						
1.	21.05.	90	15.05.	84	22.05.	91
2.	07.07.	47	30.06.	46	26.06.	35
<i>Gesamt</i>		137		130		126
<b>B</b>						
1.	28.05.	97	27.05.	96	29.05.	98
2.	17.07.	50	23.07.	57	24.07.	56
<i>Gesamt</i>		147		153		154
<b>C</b>						
1.	10.07.	140	02.07.	132	14.07.	144
2.	06.10.	88	30.09.	90	16.10.	94
<i>Gesamt</i>		228		222		238
<b>1998</b>						
<b>A</b>						
1.	20.05.	101	13.05.	94	18.05.	99
2.	14.07.	55	15.07.	63	16.07.	59
<i>Gesamt</i>		156		157		158
<b>B</b>						
1.	25.05.	106	14.05.	95	19.05.	100
2.	22.07.	58	21.07.	68	29.07.	71
<i>Gesamt</i>		164		163		171
<b>C</b>						
1.	06.07.	148	08.07.	150	09.07.	151
2.	29.09.	85	29.09.	83	24.09.	77
<i>Gesamt</i>		233		233		228

<sup>1</sup> für den 1. Aufwuchs gilt als Wuchsdauer die Zeit vom Vegetationsbeginn bis zum 1. Schnitt,

Anhangstabelle 16: In vivo- und geschätzte umsetzbare Energie (ME, MJ/kg TS)

Einflußfaktoren				ME	ME-Schätzwerte				
Schni.			n	in vivo	XF	HFT	ELOS	EuLOS <sup>96</sup>	EuLOS <sup>99</sup>
				Signifikanz im F-Test ( $\alpha < 0,05$ ; bei Signifikanz folgt LSD-Test)					
1.	Signifikanzniveau:			*	n. s.	*	*	*	*
	Jahr:	96	7	9,95 <sup>b</sup>	10,11	9,35 <sup>a</sup>	9,14 <sup>ab</sup>	9,83 <sup>b</sup>	9,81 <sup>b</sup>
		97	9	9,63 <sup>ab</sup>	10,15	9,77 <sup>b</sup>	9,27 <sup>b</sup>	9,49 <sup>ab</sup>	9,30 <sup>ab</sup>
		98	8	9,40 <sup>a</sup>	9,95	9,56 <sup>ab</sup>	8,80 <sup>a</sup>	9,20 <sup>a</sup>	9,12 <sup>a</sup>
	Signifikanzniveau:			**	*	*	**	*	*
	Fl:	5	8	9,78 <sup>b</sup>	10,19 <sup>b</sup>	9,69 <sup>b</sup>	9,35 <sup>b</sup>	9,57 <sup>b</sup>	9,49 <sup>b</sup>
		6	9	9,85 <sup>b</sup>	10,12 <sup>ab</sup>	9,78 <sup>b</sup>	9,33 <sup>b</sup>	9,70 <sup>b</sup>	9,60 <sup>b</sup>
		7	7	9,36 <sup>a</sup>	9,91 <sup>a</sup>	9,21 <sup>a</sup>	8,53 <sup>a</sup>	9,25 <sup>a</sup>	9,13 <sup>a</sup>
	Signifikanzniveau:			***	***	***	***	***	***
	Nutz:	A	8	10,47 <sup>b</sup>	10,35 <sup>b</sup>	10,34 <sup>b</sup>	9,96 <sup>b</sup>	10,32 <sup>b</sup>	10,34 <sup>b</sup>
		B	7	10,37 <sup>b</sup>	10,35 <sup>b</sup>	10,30 <sup>b</sup>	9,90 <sup>b</sup>	10,15 <sup>b</sup>	10,19 <sup>b</sup>
		C	9	8,14 <sup>a</sup>	9,51 <sup>b</sup>	8,03 <sup>a</sup>	7,35 <sup>a</sup>	8,06 <sup>a</sup>	7,69 <sup>a</sup>
2.	Signifikanzniveau:			n. s.	n. s.	*	*	n. s.	n. s.
	Jahr:	96	5	9,50	9,75	9,10 <sup>a</sup>	9,35 <sup>ab</sup>	9,56	9,54
		97	8	9,15	10,00	9,86 <sup>b</sup>	9,73 <sup>b</sup>	9,57	9,57
		98	5	9,19	9,72	9,32 <sup>b</sup>	8,89 <sup>a</sup>	8,96	8,91
	Signifikanzniveau:			*	*	**	**	**	**
	Fl:	5	7	9,59 <sup>b</sup>	9,93 <sup>b</sup>	9,67 <sup>b</sup>	9,55 <sup>b</sup>	9,57 <sup>b</sup>	9,56 <sup>b</sup>
		6	7	9,55 <sup>b</sup>	9,99 <sup>b</sup>	9,79 <sup>b</sup>	9,80 <sup>b</sup>	9,73 <sup>b</sup>	9,72 <sup>b</sup>
		7	4	8,70 <sup>a</sup>	9,55 <sup>a</sup>	8,83 <sup>a</sup>	8,63 <sup>a</sup>	8,79 <sup>a</sup>	8,73 <sup>a</sup>
	Signifikanzniveau:			*	n. s.	**	n. s.	n. s.	n. s.
	Nutz:	A	8	9,87 <sup>b</sup>	10,04	9,93 <sup>c</sup>	9,60	9,82	9,81
		B	6	8,99 <sup>a</sup>	9,73	9,40 <sup>b</sup>	9,38	9,25	9,21
		C	4	8,98 <sup>a</sup>	9,69	8,95 <sup>a</sup>	9,00	9,03	8,99

unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte pro Faktor sind signifikant:

\*  $\alpha < 0,05$ ; \*\*  $\alpha < 0,01$ ; \*\*\*  $\alpha < 0,001$  (LSD)

Anhangstabelle 17: Rohnährstoffgehalte der Pflanzenbestände aus dem 1. und 2. Schnitt in g/kg TS

Schni.	Jahr	Fl.	Nutz.	Wuchsd	XA	OS	XP	XF	Schni.	Jahr	Fl.	Nutz.	Wuchsd	XA	OS	XP	XF
				in Tage	g/kg TS								in Tage	g/kg TS			
1.	96	5	A	50	92	908	182	258	2.	96	5	A	41	80	920	128	243
	96	6	A	49	115	885	191	257		96	6	A	41	121	879	135	236
	96	5	B	58	79	921	144	268		96	5	B	62	125	875	125	251
	96	6	B	50	120	880	143	247		-	-	-	-	-	-	-	-
	96	5	C	99	110	890	81	310		-	-	-	-	-	-	-	-
	96	6	C	98	71	929	70	326		96	6	C	91	127	873	136	242
	96	7	C	106	82	919	56	305		96	7	C	85	131	869	73	264
	97	5	A	90	116	884	149	273		97	5	A	47	92	908	163	241
	97	6	A	84	111	889	182	230		97	6	A	46	85	916	149	242
	97	7	A	91	112	888	139	282		97	7	A	35	122	879	167	216
	97	5	B	97	126	874	191	222		97	5	B	50	109	891	186	238
	97	6	B	96	146	854	154	247		97	6	B	57	103	897	155	235
	97	7	B	98	131	870	161	219		97	7	B	56	122	878	143	265
	97	5	C	140	97	903	136	278		97	5	C	88	120	880	165	231
	97	6	C	132	62	938	75	322		97	6	C	90	110	890	116	256
	97	7	C	144	85	915	87	309		-	-	-	-	-	-	-	-
	98	5	A	101	82	918	156	246		98	5	A	55	98	902	143	249
	98	6	A	94	94	906	166	253		98	6	A	63	91	909	141	256
	98	7	A	99	87	913	107	284		98	7	A	59	128	872	100	239
	-	-	-	-	-	-	-	-		98	5	B	58	145	855	119	258
	98	6	B	95	95	905	129	278		98	6	B	68	79	922	113	246
	98	7	B	100	93	907	111	256		-	-	-	-	-	-	-	-
	98	5	C	148	129	871	87	292		-	-	-	-	-	-	-	-
	98	6	C	150	62	938	49	320		98	6	C	83	98	902	128	245
	98	7	C	151	84	916	53	314		98	7	C	77	117	884	99	267
M					99	901	117	278	M					112	888	134	246
sd					23,4	23,4	45,1	34,2	sd					17,8	17,8	27,5	13,0
Spanne					62..146	854..938	49..191	219..326	Spanne					79..145	855..922	73..186	216..267
n					24	24	24	24	n					20	20	20	20

Anhangstabelle 18: Die Gehalte an Zellwandbestandteile der Pflanzenbestände (1. Schnitt)

Schnitt	Jahr	Fl	Nutz	NDF	Hemi.	ADF	Cellul.	ADL	lös.Lign	ges.Lign
				g/kg TS						
1.	96	5	A	556	282	274	254	20	108	128
	96	6	A	583	297	286	261	25	-	-
	97	5	A	521	228	292	271	21	64	86
	97	6	A	457	208	249	218	31	73	104
	97	7	A	553	247	306	284	22	58	80
	98	5	A	487	212	275	249	26	66	92
	98	6	A	510	239	271	248	24	85	109
	98	7	A	538	228	310	282	28	55	83
	96	5	B	579	282	297	270	27	96	123
	96	6	B	522	235	288	263	25	126	150
	97	5	B	387	131	257	229	28	110	138
	97	6	B	455	177	278	249	29	64	93
	97	7	B	413	158	254	231	24	97	120
	98	6	B	547	248	300	276	24	60	84
	98	7	B	482	204	278	254	24	73	97
	96	5	C	612	268	344	299	45	81	126
	96	6	C	621	257	364	313	51	76	128
	96	7	C	607	275	332	278	54	73	127
	97	5	C	514	189	325	269	56	49	105
	97	6	C	607	242	365	307	58	41	99
	97	7	C	582	218	364	303	61	55	117
	98	5	C	583	253	329	281	49	41	90
	98	6	C	621	261	359	310	49	39	88
	98	7	C	596	240	356	312	44	38	82
M				539	232	306	271	35	71	106
sd				65,9	40,5	37,8	27,1	14,0	24,2	20,4
Spanne				387..621	131..297	249..365	218..313	20..61	38..126	80..150
n				24	24	24	24	24	23	23

Anhangstabelle 19: Die Gehalte an Zellwandbestandteile der Pflanzenbestände (2. Schnitt)

Schnitt	Jahr	Fl	Nutz	NDF	Hemi.	ADF	Cellul.	ADL	lös.Lign	ges.Lign
				g/kg TS						
2.	96	5	A	510	250	260	234	26	110	136
	96	6	A	508	243	265	235	31	109	140
	97	5	A	461	191	270	238	32	70	102
	97	6	A	492	219	273	237	36	101	137
	97	7	A	455	212	243	217	26	68	94
	98	5	A	486	212	274	248	27	61	87
	98	6	A	512	237	275	247	28	91	119
	98	7	A	495	228	267	241	26	53	79
	96	5	B	525	229	296	265	31	110	141
	97	5	B	407	102	305	239	67	61	128
	97	6	B	463	169	294	238	56	63	118
	97	7	B	522	183	339	261	78	55	133
	98	5	B	501	207	293	257	36	50	86
	98	6	B	496	217	279	247	32	60	91
	96	6	C	451	182	269	234	35	-	-
	96	7	C	549	241	308	276	33	89	121
	97	5	C	459	169	290	239	51	96	147
	97	6	C	515	217	298	246	52	80	131
	98	6	C	512	212	300	265	36	59	95
	98	7	C	538	228	310	277	33	57	90
M sd Spanne n				493	207	285	247	38	76	114
				34,4	34,4	22,0	15,3	14,6	21,3	22,6
				407..549	102..250	243..339	217..277	26..78	50..110	79..147
				20	20	20	20	20	19	19

Anhangstabelle 20: Die Gehalte an Hemicellulosemonomeren und phenolischen Säuren der Pflanzenbeständen (1. Schnitt)

Schni.	Jahr	Fläche	Nutz	Xyl	Ara	Xyl:Ara	PCA	FA	PCA:FA
				g/kg TS			g/kg TS		
I.	96	5	A	132	36	3,69	-	-	-
	97	6	A	106	33	3,20	1,7	2,6	0,64
	97	7	A	149	33	4,54	3,2	3,8	0,85
	97	5	A	142	32	4,42	2,5	3,7	0,68
	98	7	A	152	29	5,32	3,0	3,4	0,88
	98	5	A	116	35	3,37	1,6	3,0	0,51
	98	6	A	118	35	3,38	1,9	3,1	0,61
	96	5	B	143	39	3,67	-	-	-
	96	6	B	125	35	3,55	-	-	-
	97	6	B	107	25	4,28	1,8	2,6	0,67
	97	5	B	84	23	3,69	1,4	1,9	0,70
	97	7	B	103	24	4,27	1,9	2,5	0,73
	98	6	B	134	33	4,08	2,5	3,3	0,75
	98	7	B	128	31	4,07	2,3	3,0	0,76
	96	7	C	156	36	4,33	-	-	-
	96	6	C	156	36	4,38	-	-	-
	96	5	C	154	36	4,29	-	-	-
	97	6	C	149	28	5,38	2,6	2,1	1,26
	97	5	C	104	24	4,41	0,6	1,3	0,47
	97	7	C	131	25	5,27	1,5	1,7	0,87
	98	6	C	159	32	5,04	3,6	2,5	1,46
	98	5	C	149	34	4,42	1,6	2,2	0,70
	98	7	C	153	29	5,28	2,0	2,3	0,90
	M			132	31	4,28	2,1	2,6	0,79
	sd			21,4	4,7	0,7	0,7	0,7	0,2
	Spanne			84..159	23..39	3,20..5,38	0,6..3,6	1,3..3,8	0,47..1,46
	n			23	23	23	17	17	17



Anhangstabelle 21: Die Gehalte an Hemicellulosemonomeren und phenolischen Säuren der Pflanzenbeständen (2. Schnitt)

Schni.	Jahr	Fläche	Nutz	Xyl	Ara	Xyl:Ara	PCA	FA	PCA:FA
				g/kg TS			g/kg TS		
2.	96	6	A	119	36	3,32	-	-	-
	96	5	A	119	37	3,19	-	-	-
	97	5	A	103	31	3,27	1,0	2,2	0,47
	97	7	A	116	26	4,42	1,9	2,4	0,82
	97	6	A	114	31	3,67	1,4	2,4	0,61
	98	7	A	130	32	4,04	2,3	2,7	0,86
	98	5	A	116	36	3,25	1,4	2,2	0,61
	98	6	A	123	39	3,17	1,8	3,0	0,62
	96	5	B	121	36	3,36	-	-	-
	97	7	B	101	24	4,14	1,3	1,6	0,83
	97	5	B	52	12	4,31	0,5	1,0	0,50
	97	6	B	87	23	3,88	0,8	1,6	0,53
	98	5	B	115	34	3,36	1,6	2,5	0,65
	98	6	B	112	34	3,25	1,3	2,4	0,55
	96	7	C	139	41	3,43	-	-	-
	97	6	C	109	34	3,21	1,7	2,0	0,86
	97	5	C	76	27	2,85	0,7	1,3	0,58
	98	6	C	126	45	2,78	2,0	3,1	0,67
	98	7	C	138	35	3,95	1,7	2,4	0,74
	M			111	32	3,52	1,4	2,2	0,66
	sd			21,0	7,4	0,5	0,5	0,6	0,1
	Spanne			52..139	12..45	2,78..4,42	0,5..2,3	1,0..3,1	0,47..0,86
	n			19	19	19	15	15	15

Anhangstabelle 22: In vivo-Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und der Faserbestandteile (1. Schnitt)

Schni.	Einflussfaktoren				in vivo-Verdaulichkeit in %					
	Jahr	Fläche	Nutz	Wuchsd	VQOS	VQXP	VQXF	VQNDF	VQADF	VQADL
1.	96	5	A	50	77,4	70,4	83,6	81,3	77,5	-95,7
	96	6	A	49	80,8	78,0	86,7	86,6	81,6	-26,1
	97	5	A	90	75,0	71,0	82,3	77,2	76,6	-62,3
	97	6	A	84	80,1	76,5	87,0	82,9	79,5	11,3
	97	7	A	91	73,2	72,5	77,8	74,8	72,9	-31,8
	98	5	A	101	75,4	71,3	75,9	74,4	72,3	-48,0
	98	6	A	94	76,3	73,0	78,9	77,1	74,2	-100,0
	98	7	A	99	68,4	58,6	66,7	63,8	63,1	-17,7
	96	5	B	58	75,8	65,5	83,2	-	-	-
	96	6	B	50	81,4	72,9	87,7	86,0	83,7	6,1
	97	5	B	97	78,7	76,7	80,4	75,6	75,1	-15,8
	97	6	B	96	74,6	69,4	78,5	72,9	70,8	-42,4
	97	7	B	98	78,9	74,0	82,2	77,5	74,5	-54,5
	98	6	B	95	73,1	64,8	76,6	74,6	73,0	-33,0
	98	7	B	100	71,7	59,1	70,9	68,8	67,8	-41,7
	96	5	C	99	66,1	58,8	67,2	63,4	60,3	-7,8
	96	6	C	98	58,9	48,3	54,0	52,3	50,0	0,0
	96	7	C	106	59,6	37,0	53,2	53,1	46,9	17,8
	97	5	C	140	62,6	61,7	59,1	68,3	65,0	1,7
	97	6	C	132	61,0	44,9	57,3	54,4	53,2	10,1
	97	7	C	144	53,8	37,2	50,1	46,3	41,3	-11,6
	98	5	C	148	58,3	45,1	55,3	58,0	54,0	-14,0
	98	6	C	150	58,5	17,5	51,8	51,3	49,7	-0,4
	98	7	C	151	61,0	26,9	57,1	60,1	57,7	3,8
	M				70,0	59,6	71,0	68,7	66,1	-24,0
	sd				8,7	16,9	13,0	11,9	12,2	32,3
	Spanne				53,8..81,4	17,5..78,0	50,1..87,7	46,3..86,6	41,3..83,7	u. v.
	n				24	24	24	23	23	23

Anhangstabelle 23: In vivo-Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und der Faserbestandteile (2. Schnitt)

Schni.	Einflussfaktoren				in vivo-Verdaulichkeit in %					
	Jahr	Fläche	Nutz	Wuchsd	VQOS	VQXP	VQXF	VQNDF	VQADF	VQADL
2.	96	5	A	41	74,9	69,9	76,5	72,7	69,5	-25,8
	96	6	A	41	73,7	70,0	76,1	74,2	69,4	-20,3
	97	5	A	47	68,6	65,8	69,4	63,5	58,7	-81,0
	97	6	A	46	70,7	67,7	73,4	67,4	62,5	-38,8
	97	7	A	35	71,8	69,7	74,1	68,8	63,4	-62,7
	98	5	A	55	78,6	73,3	80,0	76,5	75,5	-18,1
	98	6	A	63	69,5	61,2	70,1	66,3	63,9	-45,6
	98	7	A	59	66,8	52,3	65,9	63,0	60,5	-48,9
	96	5	B	62	71,5	67,4	76,9	73,1	70,6	-33,9
	97	5	B	50	65,4	67,5	57,1	51,7	43,0	-42,3
	97	6	B	57	70,0	65,5	69,0	65,1	59,5	-9,8
	97	7	B	56	60,4	51,2	60,3	56,3	49,2	-8,2
	98	5	B	58	66,4	56,7	66,9	69,8	67,6	-18,0
	98	6	B	68	68,8	56,0	66,1	65,0	61,5	-36,1
	96	6	C	91	75,1	69,9	75,5	72,2	70,5	-10,1
	96	7	C	85	64,0	33,9	69,7	64,3	62,7	-20,3
	97	5	C	88	67,1	65,4	66,2	53,9	50,7	-18,7
	97	6	C	90	62,8	58,8	62,1	52,1	39,9	-42,9
	M				69,2	62,3	69,7	65,3	61,0	-32,3
	sd				4,7	9,6	6,2	7,6	9,8	19,6
	Spanne				60,4..78,6	33,9..73,3	57,1..80,0	51,7..76,5	39,9..75,5	u. v.
	n				18	18	18	18	18	18

Anhangstabelle 24: TS-Verlust und der Abbau der Zellwandbestandteile sowie phenolischen Säuren im Pansen, 1. Aufwuchs

Schni.	Einflußfaktoren				TS-Verl.	Abbaubarkeit im Pansen %								
	Jahr	Fl.	Nutz	Wuchsd		NDF	ADF	ADL	lösl.Lign	ges.Lign	Xyl	Ara	PCA	FA
1.	96	5	A	50	70,7	55,7	56,4	-9,1	79,3	65,7	49,3	76,1	-	-
	96	6	A	49	70,7	60,9	56,4	17,4	-	-	-	-	-	-
	97	5	A	90	67,2	53,1	55,8	-12,5	71,4	50,6	49,2	71,9	49,2	81,4
	97	6	A	84	70,1	-	-	-	75,4	-	44,0	78,0	57,2	79,5
	97	7	A	91	65,4	49,9	52,2	2,8	67,2	49,3	-	-	55,2	82,8
	98	5	A	101	65,8	33,7	37,2	-6,3	66,0	45,5	23,3	63,4	23,9	71,4
	98	6	A	94	71,5	55,0	52,8	-13,1	82,3	61,5	39,9	80,1	51,2	83,9
	98	7	A	99	59,9	36,1	38,5	11,6	63,6	45,9	31,1	61,4	47,4	75,5
	96	5	B	58	64,8	50,6	50,7	9,2	75,0	60,7	43,1	74,2	-	-
	96	6	B	50	70,9	61,3	61,4	13,1	87,6	75,4	54,5	82,8	-	-
	97	5	B	97	72,7	50,2	56,8	14,8	84,8	70,8	37,4	75,6	38,7	78,5
	97	6	B	96	62,9	30,7	49,0	14,5	62,3	47,3	29,8	70,3	27,4	76,9
	97	7	B	98	66,2	38,3	42,6	4,0	80,7	65,7	24,6	68,6	28,7	73,5
	98	6	B	95	68,4	50,8	52,5	-6,7	69,1	47,6	39,1	75,1	46,4	81,8
	98	7	B	100	63,0	35,9	37,8	4,2	69,4	53,5	25,1	69,5	39,4	74,2
	96	5	C	99	47,8	34,3	29,6	15,6	66,4	48,4	26,6	54,6	-	-
	96	6	C	98	47,7	27,5	23,3	6,7	67,0	42,7	24,3	62,2	-	-
	96	7	C	106	45,1	22,9	14,6	25,2	61,7	46,2	20,0	58,4	-	-
	97	5	C	140	52,6	25,1	22,6	0,3	42,5	19,9	13,9	53,8	52,6	52,6
	97	6	C	132	51,5	38,4	30,8	22,3	43,3	31,0	25,3	59,8	41,5	66,8
	97	7	C	144	49,2	-	25,6	10,8	56,7	32,5	15,9	54,2	34,6	66,8
	98	5	C	148	46,1	-	11,1	-1,2	28,0	12,3	26,3	56,1	17,2	59,1
	98	6	C	150	46,7	-	22,8	-4,5	36,8	13,7	20,6	55,1	37,6	62,4
	98	7	C	151	46,4	-	19,6	-4,6	22,3	7,9	13,7	49,2	34,2	60,9
	M				60,1	42,7	39,1	5,0	63,4	45,2	30,8	65,9	40,1	72,2
	sd				10,1	12,2	15,6	11,0	17,8	18,9	12,0	10,0	11,5	9,3
	Spanne				45,1..72,7	22,9..61,3	11,1..61,4	n.13,1..25,2	22,3..87,6	7,9..75,4	13,7..54,5	49,2..82,8	17,2..57,2	52,6..83,9
	n				24	19	23	23	23	22	22	22	17	17

Anhangstabelle 25: TS-Verlust und der Abbau der Zellwandbestandteile sowie phenolischen Säuren im Pansen, 2. Aufwuchs

Schni.	Einflußfaktoren				TS-Verl.	Abbaubarkeit im Pansen %								
	Jahr	Fl.	Nutz	Alter		NDF	ADF	ADL	lösl.Lign	ges.Lign	Xyl	Ara	PCA	FA
2.	96	5	A	41	65,6	45,9	44,2	6,8	79,4	65,7	36,6	66,3	-	-
	96	6	A	41	61,6	45,9	51,5	33,8	-	-	-	-	-	-
	97	5	A	47	67,7	44,4	46,7	-13,0	72,0	45,2	37,9	72,1	25,6	74,6
	97	6	A	46	65,5	44,7	43,8	19,9	76,9	61,9	32,7	68,0	32,1	74,5
	97	7	A	35	67,4	46,0	47,4	3,1	71,7	52,7	36,6	67,8	40,8	74,4
	98	5	A	55	67,0	46,5	47,9	5,7	63,5	45,9	34,9	67,8	21,2	64,2
	98	6	A	63	63,0	40,6	41,8	3,4	77,3	60,1	30,9	68,9	23,9	70,1
	98	7	A	59	60,0	40,4	41,4	-2,0	53,7	35,4	28,9	59,5	56,9	80,7
	96	5	B	62	60,8	64,8	29,8	14,1	77,9	63,7	36,0	63,6	-	-
	97	5	B	50	60,1	29,1	25,3	-36,2	65,5	12,2	17,5	63,4	65,6	85,9
	97	6	B	57	61,5	58,3	28,3	14,2	64,7	40,9	24,7	60,8	14,2	73,2
	97	7	B	56	53,5	59,7	25,9	5,5	53,2	25,2	28,1	60,9	55,9	77,6
	98	5	B	58	61,4	48,7	46,5	7,4	60,6	38,3	35,1	66,5	43,7	74,9
	98	6	B	68	61,3	34,4	36,2	-8,1	54,9	33,0	19,3	62,4	18,1	66,7
	96	6	C	91	63,8	44,5	42,3	3,4	-	-	-	-	-	-
	96	7	C	85	56,3	42,2	41,7	27,4	70,3	58,8	37,8	61,3	-	-
	97	5	C	88	61,8	37,9	38,3	-4,1	74,6	47,5	25,1	62,1	23,2	69,4
	97	6	C	90	60,0	63,6	30,7	23,0	73,6	53,6	27,7	70,7	29,9	67,7
	98	6	C	83	61,4	36,6	39,7	14,0	67,2	47,2	25,7	73,1	25,2	73,1
	98	7	C	77	56,2	37,3	37,8	1,0	57,0	36,6	30,9	53,2	28,5	66,5
	M				61,8	45,6	39,4	6,0	67,4	45,8	30,4	64,9	33,7	72,9
	sd				3,8	9,6	7,7	15,3	8,8	14,3	6,2	5,0	15,5	5,8
	Spanne				53,5..67,7	29,1..64,8	25,3..51,5	n36,2..33,8	53,2..79,4	12,2..65,7	17,5..37,9	53,2..73,1	14,2..65,6	64,2..85,9
	n				20	20	20	20	18	18	18	18	15	15

Anhangstabelle 26: In vitro-Parameter, in vivo- und geschätzte umsetzbare Energie, 1. Aufwuchs

Schnitt	Jahr	Fläche	Nutz	Wuchsd.	Gb	unl. Rest	ELOS	EuLOS	ME in vivo	MEXF	MEHFT	MEELOS	MEEuLOS <sup>96</sup>	MEEuLOS <sup>99</sup>
					ml	g/kg TS			MJ/kg TS					
1.	96	5	A	50	51,8	-	772	209	10,8	10,6	10,6	10,6	10,9	11,0
	96	6	A	49	49,3	-	794	185	11,1	10,5	10,3	10,6	10,9	11,0
	97	5	A	90	52,7	179	687	274	10,1	10,0	10,2	9,8	9,6	9,6
	97	6	A	84	55,9	111	797	180	11,1	10,9	11,1	10,4	11,0	11,1
	97	7	A	91	52,7	176	673	288	9,8	9,9	10,0	9,3	9,5	9,5
	98	5	A	101	54,5	169	642	221	10,6	10,7	10,5	10,3	10,7	10,7
	98	6	A	94	55,6	141	633	229	10,6	10,6	10,8	10,5	10,6	10,6
	98	7	A	99	52,8	250	537	339	9,6	9,9	9,8	8,7	9,3	9,3
	96	5	B	58	52,6	-	725	253	10,4	10,3	10,0	10,0	10,4	10,4
	96	6	B	50	57,4	-	781	198	11,1	10,4	10,8	10,5	10,7	10,8
	97	5	B	97	51,8	154	768	202	10,8	11,0	10,6	10,0	10,5	10,5
	97	6	B	96	53,0	151	722	242	10,0	10,1	10,1	9,9	9,9	9,9
	97	7	B	98	54,4	151	974	220	10,5	10,6	10,2	9,8	10,0	10,1
	98	6	B	95	56,1	182	583	280	10,0	9,9	10,6	10,3	9,9	9,9
	98	7	B	100	55,4	173	589	275	9,9	10,3	10,3	9,4	9,9	9,9
	96	5	C	99	39,2	-	554	409	9,0	9,6	8,1	8,0	8,5	8,4
	96	6	C	98	41,6	-	518	450	8,1	9,6	7,7	6,8	8,3	8,1
	96	7	C	106	39,5	-	529	434	8,1	9,5	7,2	6,8	8,2	8,0
	97	5	C	140	39,7	332	556	434	8,6	9,8	9,1	8,9	8,6	8,0
	97	6	C	132	44,9	354	529	476	8,5	9,7	8,7	8,2	8,4	7,7
	97	7	C	144	41,6	374	509	488	7,3	9,4	8,0	7,2	8,0	7,3
	98	5	C	148	35,9	364	367	461	7,5	9,4	7,8	6,8	7,1	6,9
	98	6	C	150	40,6	404	412	487	8,0	9,4	7,9	6,8	7,8	7,5
	98	7	C	151	42,1	393	408	461	8,1	9,2	7,9	6,6	7,7	7,4
	M				48,8	274	627	321	9,6	10,0	9,5	9,0	9,4	9,3
	sd				6,9	105,7	146,7	113,4	1,2	0,5	1,2	1,5	1,2	1,4
	Spanne				35,9..57,4	111..404	367..974	180..488	7,3..11,1	9,2..11,0	7,2..11,1	6,6..10,6	7,1..11,0	6,9..11,1
	n				24	17	24	24	24	24	24	24	24	24

Anhangstabelle 27: In vitro-Parameter, in vivo- und geschätzte umsetzbare Energie, 2. Aufwuchs

Schnitt	Jahr	Fl	Nutz	Wuchsd.	Gb	unl.Rest	ELOS	EuLOS	MEinvivo	MEXF	MEHFT	MEELOS	MEEuLOS96	MEEuLOS99
					ml	g/kg TS			MJ/kg TS					
2.	96	5	A	41	49,6	-	714	264	10,5	10,3	10,1	10,1	10,3	10,3
	96	6	A	41	46,3	-	729	241	10,0	9,9	9,7	10,0	10,1	10,1
	97	5	A	47	51,3	194	745	230	9,7	10,3	10,6	10,2	10,6	10,6
	97	6	A	46	51,4	230	714	259	10,0	10,3	10,5	10,2	10,3	10,3
	97	7	A	35	49,5	148	696	266	9,8	10,0	10,0	9,5	9,7	9,8
	98	5	A	55	50,7	218	545	317	10,8	10,0	10,1	9,6	9,4	9,4
	98	6	A	63	51,9	243	546	321	9,6	10,0	10,2	9,4	9,4	9,4
	98	7	A	59	46,6	239	522	321	9,0	9,7	9,2	8,5	9,0	9,0
	96	5	B	62	44,2	-	675	284	9,5	9,6	9,3	9,7	9,4	9,3
	97	5	B	50	43,9	222	691	276	9,2	10,3	10,1	9,7	9,9	9,9
	97	6	B	57	49,2	213	701	265	9,3	10,0	10,2	10,0	9,9	9,9
	97	7	B	56	40,0	293	579	372	8,2	9,6	9,3	9,6	8,6	8,4
	98	5	B	58	43,6	212	500	321	8,7	9,4	9,1	9,0	8,7	8,7
	98	6	B	68	50,9	245	581	298	9,6	10,2	10,1	9,7	9,9	9,8
	96	6	C	91	46,4	-	736	235	10,2	10,1	9,3	9,9	10,2	10,2
	96	7	C	85	44,5	-	606	344	8,2	9,2	7,7	7,7	8,5	8,4
	97	5	C	88	41,1	145	672	287	9,3	10,0	9,8	9,7	9,5	9,6
	97	6	C	90	42,7	290	618	339	8,7	9,8	9,5	10,1	9,0	9,0
	98	6	C	83	47,0	229	-	-	-	-	-	-	-	-
	98	7	C	77	44,8	267	-	-	-	-	-	-	-	-
Spanne	M				46,8	235	643	291	9,5	9,9	9,7	9,6	9,6	9,6
	sd				3,6	39,5	81	40	0,7	0,3	0,7	0,6	0,6	0,7
					40,0..51,9	145..293	500..745	230..372	8,2..10,8	9,2..10,3	7,7..10,6	7,7..10,2	8,5..10,6	8,4..10,6
	n				20	15	18	18	18	18	18	18	18	18

Anhangstabelle 28: Der Gehalt an Rohnährstoffe und Zellwanbestandteile (**Deutsches Weidelgras**)

Pflanzenart	Jahr	Fläche	Nutz	Schni.	Wuchsd	OS	XP	XF	NDF	Hemi.	ADF	Cellul.	ADL	lösl. Lign	ges. Lign
						g/kg TS									
D. Weidelgr.	97	5	A	1	90	912	155	246	539	254	284	267	17	-	-
	98	5	A	1	101	916	149	246	475	213	262	245	17	95	112
	98	6	A	1	94	899	172	253	517	247	270	255	15	115	130
	97	6	B	1	96	890	173	248	473	208	265	237	29	120	149
	98	5	B	1	106	921	116	243	487	220	267	250	18	-	-
	98	6	B	1	95	908	150	269	525	241	284	267	18	113	131
	98	5	C	1	148	950	79	266	547	257	290	253	37	86	123
	98	6	C	1	150	947	85	276	571	261	310	266	45	72	117
M						918	135	256	517	238	279	255	24	100	127
sd						21	37	12	36	21	16	11	11	19	13
Spanne						890..950	79..173	243..276	473..571	208..261	262..310	237..267	15..45	72..120	112..149
D. Weidelgr.	97	5	A	2	47	925	128	244	519	251	268	248	20	69	89
	97	6	A	2	46	928	119	251	530	254	276	244	32	-	-
	98	5	A	2	55	942	102	253	522	246	277	248	29	-	-
	98	6	A	2	63	939	101	260	562	283	279	247	32	93	125
	98	7	A	2	59	935	88	263	524	235	289	260	29	-	-
	97	5	B	2	50	913	127	256	523	237	286	264	22	-	-
	97	6	B	2	57	934	96	273	586	285	301	264	37	66	102
	98	5	B	2	58	926	106	255	541	265	276	251	25	-	-
	98	6	B	2	68	943	91	262	548	267	281	253	29	99	128
	98	7	B	2	71	928	67	314	626	266	360	313	47	81	128
M						931	102	263	548	259	289	259	30	82	114
sd						9	19	20	35	17	26	20	8	14	18
Spanne						913..943	67..128	244..314	519..626	235..285	276..360	244..313	20..47	66..99	89..128



Anhangstabelle 29: Der Gehalt an Rohnährstoffe und Zellwanbestandteile (**Wiesenrispe**)

Pflanzenart	Jahr	Fläche	Nutz	Schni.	Wuchsd	OS	XP	XF	NDF	Hemi.	ADF	Cellul.	ADL	lösl. Lign	ges. Lign
						g/kg TS									
Wiesenrispe	97	5	A	1	90	919	162	280	555	254	301	281	20	-	-
	98	5	A	1	101	948	137	277	574	278	296	263	33	90	123
	98	6	A	1	94	927	99	283	602	300	302	278	24	-	-
	97	5	B	1	97	924	150	281	558	255	302	279	23	-	-
	97	6	B	1	96	924	127	300	578	249	329	294	35	-	-
	98	5	B	1	106	937	127	276	571	265	306	274	32	105	137
	98	6	B	1	95	936	125	324	644	300	344	323	21	-	-
	97	5	C	1	140	933	108	320	668	298	370	329	41	75	116
	97	6	C	1	132	941	82	345	680	301	379	325	55	79	134
	98	5	C	1	148	937	109	305	648	312	336	295	40	78	119
M						933	122	299	608	281	326	294	32	86	126
sd						9	24	24	48	24	30	24	11	12	9
Spanne						919..948	82..162	276..345	555..680	249..312	296..379	263..329	20..41	75..105	116..137
Wiesenri.	97	5	A	2	47	918	166	243	547	277	270	254	16	-	-
	97	6	A	2	46	932	132	252	575	287	288	253	35	-	-
	98	5	A	2	55	928	154	254	528	253	275	257	18	104	122
	98	6	A	2	63	926	144	270	537	247	290	272	18	126	144
	97	5	B	2	50	916	144	277	596	289	308	288	20	109	129
	97	6	B	2	57	921	132	254	543	264	279	254	25	-	-
	98	6	B	2	68	926	136	256	581	297	284	266	18	100	118
	97	5	C	2	88	916	143	243	542	270	272	252	20	83	104
	98	5	C	2	85	910	171	247	517	248	268	251	18	130	147
	98	6	C	2	83	912	162	244	491	223	268	249	18	101	119
M						920	148	254	546	265	280	260	21	108	126
sd						7	14	12	31	23	13	12	6	16	15
Spanne						910..932	132..171	243..277	491..596	223..297	268..308	249..288	16..35	83..130	104..147

Anhangstabelle 30: Der Gehalt an Rohnährstoffe und Zellwanbestandteile (**Rotschwingel**)

Pflanzenart	Jahr	Fläche	Nutz	Schni.	Wuchsd	OS	XP	XF	NDF	Hem.	ADF	Cellul.	ADL	lös. Lign	ges. Lign
						g/kg TS									
Rotschi.	97	5	A	1	90	937	128	308	628	300	329	307	22	-	-
	98	5	A	1	101	941	124	294	592	285	307	280	27	88	115
	98	5	B	1	106	943	97	310	613	279	334	298	36	78	113
	97	5	C	1	140	953	89	338	685	310	375	323	53	58	110
	98	5	C	1	148	953	68	338	685	310	375	323	53	67	119
M						945	101	317	641	297	344	306	38	73	115
sd						7	25	20	43	14	30	18	14	13	4
Spanne						937..953	68..128	294..338	592..685	279..310	307..375	280..323	22..53	58..88	110..119
Rotschi.	97	5	A	2	47	927	146	264	599	309	290	270	20	87	107
	98	5	A	2	55	938	108	263	552	267	286	264	21	112	133
	97	5	B	2	50	916	136	281	610	302	308	284	24	-	-
	98	5	B	2	58	934	99	282	602	297	305	283	23	73	95
	97	5	C	2	88	925	122	261	555	264	291	269	22	78	100
	98	5	C	2	85	931	106	262	533	256	277	258	20	111	131
M						928	119	269	575	282	293	271	21	92	113
sd						8	18	10	32	23	12	10	2	18	18
Spanne						916..938	99..146	261..282	533..610	256..309	277..308	258..284	20..24	78..112	95..133

Anhangstabelle 31: Der Gehalt an Rohnährstoffe und Zellwanbestandteile (**Wiesenlieschgras**)

Pflanzenart	Jahr	Fläche	Nutz	Schni.	Wuchsd	OS	XP	XF	NDF	Hem.	ADF	Cellul.	ADL	lös. Lign	ges. Lign
						g/kg TS									
W.lieschgr.	98	6	A	1	94	925	127	251	546	266	280	259	21	-	-
	97	6	B	1	96	925	103	304	580	251	329	301	29	-	-
	98	6	B	1	95	923	106	281	593	278	316	293	23	-	-
	97	6	C	1	132	948	63	323	638	279	359	307	52	54	105
	98	6	C	1	150	898	53	285	567	249	319	266	52	70	122
M						924	90	289	585	264	321	285	35	62	114
sd						18	31	27	34	14	28	21	15	11	12
Spanne						898..948	53..127	251..323	546..638	249..279	280..359	259..307	21..52	54..70	105..122
W.lieschgr.	97	6	A	2	46	938	112	249	548	261	288	248	40	-	-
	98	6	A	2	63	954	71	253	551	274	277	251	26	-	-
	97	6	B	2	57	941	84	262	555	258	297	258	39	94	132
	98	6	B	2	68	954	85	251	530	256	274	244	30	-	-
	97	6	C	2	90	949	65	288	634	296	338	281	57	79	136
	98	6	C	2	83	942	85	259	533	232	301	264	37	82	119
M						946	84	260	558	263	296	258	38	85	129
sd						7	16	14	38	21	23	13	11	8	9
Spanne						938..954	65..112	249..288	530..634	232..296	274..338	244..281	26..57	79..94	119..136

Anhangstabelle 32: Der Gehalt an Rohnährstoffe und Zellwanbestandteile (**Rohrschwengel**)

Pflanzenart	Jahr	Fläche	Nutz	Schni.	Wuchsd	OS	XP	XF	NDF	Hem.	ADF	Cellul.	ADL	lös. Lign	ges. Lign
						g/kg TS									
Rohrschw.	97	7	A	1	91	917	117	295	590	267	323	302	21	-	-
	98	7	A	1	99	926	123	306	566	240	326	298	28	-	-
	97	7	B	1	98	924	89	295	588	258	330	306	25	-	-
	98	7	B	1	100	930	82	295	585	262	322	298	25	74	99
	97	7	C	1	144	925	52	298	589	246	343	298	45	56	100
	98	7	C	1	151	932	48	293	602	264	338	302	36	-	-
M						926	85	297	586	256	330	300	30	65	100
sd						5	31	5	12	11	8	3	9	13	1
Spanne						917..932	48..123	293..306	566..602	240..267	322..343	298..306	21..45	56..74	99..100
Rohrschw.	97	7	A	2	35	897	153	244	524	250	274	252	22	-	-
	98	7	A	2	59	935	83	251	540	262	278	257	21	-	-
	97	7	B	2	56	890	76	265	555	255	300	281	19	76	95
	98	7	B	2	71	904	72	279	585	270	314	292	23	79	102
	97	7	C	2	94	907	73	260	574	259	315	286	29	90	119
	98	7	C	2	77	899	83	272	570	265	305	281	24	97	120
M						905	90	262	558	260	298	275	23	86	109
sd						16	31	13	23	7	18	16	3	10	13
Spanne						890..935	72..153	244..279	524..585	250..270	274..315	252..292	19..29	76..97	95..120

Anhangstabelle 33: Der Gehalt an Rohnährstoffe und Zellwandbestandteile (**Glatthafer**)

Pflanzenart	Jahr	Fläche	Nutz	Schni.	Wuchsd	OS	XP	XF	NDF	Hemi.	ADF	Cellul.	ADL	lös. Lign	ges. Lign
						g/kg TS									
Glatthafer	98	6	A	1	94	931	120	282	556	256	300	280	20	-	-
	98	6	B	1	95	925	90	331	628	267	361	340	21	80	101
	97	6	C	1	132	947	48	329	623	257	366	321	46	40	86
	98	6	C	1	150	956	29	368	700	276	423	366	58	58	115
M						940	72	327	627	264	363	326	36	59	101
sd						14	41	35	59	10	50	36	18	20	15
<i>Spanne</i>						925..956	29..120	282..368	556..700	256..276	300..423	280..366	20..58	40..80	86..115
Glatthafer	98	6	A	2	63	945	91	284	551	243	308	285	23	-	-
	97	6	B	2	57	932	90	299	560	239	320	289	32	86	118
	98	6	B	2	68	934	83	284	553	240	314	279	35	-	-
	97	6	C	2	90	931	87	286	612	276	336	286	51	61	111
	98	6	C	2	83	925	90	282	573	249	324	285	39	102	141
M						933	88	287	570	249	320	285	36	83	123
sd						7	3	7	25	15	11	4	10	21	15
<i>Spanne</i>						925..945	83..91	282..299	551..612	239..276	308..336	279..289	23..51	61..102	111..141

Anhangstabelle 34: Der Gehalt an Rohnährstoffe und Zellwanbestandteile (**Weißklee**)

Pflanzenart	Jahr	Fläche	Nutz	Schni.	Wuchsd	OS	XP	XF	NDF	Hemi.	ADF	Cellul.	ADL	lösl. Lign	ges. Lign
						g/kg TS									
Weißklee	98	6	A	1	94	896	228	163	241	37	204	179	25	-	-
	97	5	B	1	97	893	236	151	232	32	201	143	58	-	-
	97	6	B	1	96	896	227	164	246	29	217	130	87	-	-
	97	7	B	1	98	889	215	147	228	34	194	163	31	-	-
	98	5	B	1	106	906	198	152	226	44	182	152	31	-	-
	98	6	B	1	95	891	219	330	241	39	203	142	61	-	-
	98	7	B	1	100	902	191	147	222	33	189	147	43	-	-
	97	5	C	1	140	912	182	221	368	38	331	272	58	102	160
	97	6	C	1	132	913	169	221	341	61	280	230	50	-	-
	97	7	C	1	144	912	167	256	427	87	340	255	86	83	168
	98	5	C	1	148	894	183	211	356	86	270	212	58	-	-
	98	6	C	1	150	959	187	209	328	47	281	223	58	-	-
	98	7	C	1	151	910	176	238	383	65	318	229	88	-	-
M						906	198	201	295	49	247	190	56	92	164
sd						18	24	54	73	20	58	48	21	14	6
Spanne						889..959	167..236	147..330	222..427	29..87	182..340	130..272	25..88	83..102	160..168
Weißklee	97	6	A	2	46	923	184	193	313	66	246	167	80	-	-
	98	5	A	2	55	915	130	227	372	66	306	227	79	-	-
	98	6	A	2	63	912	204	213	347	47	300	219	81	-	-
	97	5	B	2	50	920	176	233	390	72	317	242	76	100	176
	97	6	B	2	57	920	195	222	377	78	299	217	81	102	183
	97	7	B	2	56	924	207	249	427	78	349	243	106	85	191
	98	5	B	2	58	911	195	213	345	58	287	213	74	-	-
	98	6	B	2	68	907	196	196	320	52	268	188	80	-	-
	98	7	B	2	71	904	193	182	306	54	252	168	84	-	-
	97	5	C	2	88	913	202	165	266	56	210	154	56	90	146
	97	6	C	2	90	903	199	165	266	53	214	180	33	-	-
	97	7	C	2	94	901	188	157	300	94	206	148	59	82	141
	98	5	C	2	85	902	242	150	239	49	190	164	27	-	-
	98	6	C	2	83	895	248	150	232	30	202	142	61	-	-
	98	7	C	2	77	888	252	146	228	34	194	123	71	-	-
M						909	201	191	315	59	256	186	70	92	167
sd						11	30	34	61	17	52	38	20	9	23
Spanne						888..924	130..252	146..249	228..427	30..94	190..349	123..243	27..106	82..102	141..191

Anhangstabelle 35: Der Gehalt an Hemicellulosemonomeren und phenolischen Säuren; der unlösliche Rest und netto Gasbildung aus HFT sowie die geschätzte umsetzbare Energie (ME) nach HFT und Rohrnährstoffgehalte

Pflanzenart	Jahr	Fl.	Nutz	Schni.	Wuchsd	Xyl	Ara	Xyl:Ara	PCA	FA	PCA:FA	unl.Rest	Gb	MEXF	MEHFT
						g/kg TS			g/kg TS			g/kg TS	ml	MJ/kg TS	
D.Weidelgr.	97	5	A	1	90							134	57	9,9	10,5
	98	5	A	1	101	106	35	3,02				198	57	10,6	11,0
	98	6	A	1	94	111	35	3,19				119	58	10,4	11,1
	97	6	B	1	96	105	31	3,36				113	56	10,4	10,5
	98	5	B	1	106							152	60	10,5	11,0
	98	6	B	1	95	113	37	3,04				91	60	10,2	11,2
	98	5	C	1	148	140	29	4,85				347	48	10,3	8,0
	98	6	C	1	150	146	30	4,88				339	45	10,2	7,6
	97	5	A	2	47	115	33	3,50	1,4	2,8	0,49	165	56	10,3	10,0
	97	6	A	2	46							210	53	10,3	9,5
	98	5	A	2	55							241	53	10,4	10,0
	98	6	A	2	63	142	33	4,28				273	50	10,3	9,1
	98	7	A	2	59							193	57	10,1	9,5
	97	5	B	2	50							211	55	10,0	9,6
	97	6	B	2	57	136	34	3,99	1,4	2,6	0,55	268	49	10,1	8,6
	98	5	B	2	58							215	55	10,2	10,1
	98	6	B	2	68	137	30	4,53				201	52	10,3	9,2
	98	7	B	2	71	167	33	5,03				336	42	9,6	7,9
M						129	33	3,97				211	53	10,2	9,7
sd						20	2	1				78	5	0,2	1
Spanne						105..167	29..37	3,02..5,03				91..347	42..60	9,6..10,6	7,6..11,2

Anhangstabelle 36: Der Gehalt an Hemicellulosemonomeren und phenolischen Säuren; der unlösliche Rest und netto Gasbildung aus HFT sowie die geschätzte umsetzbare Energie (ME) nach HFT und Rohrnährstoffgehalte

Pflanzenart	Jahr	Fl.	Nutz	Schni.	Wuchsd	Xyl	Ara	Xyl:Ara	PCA	FA	PCA:FA	unl.Rest	Gb	ME XF	ME HFT
						g/kg TS			g/kg TS			g/kg TS	ml	MJ/kg TS	
Wiesenri.	97	5	A	1	90							198	54	10,2	10,0
	98	5	A	1	101	156	44	3,59				229	54	10,4	10,7
	98	6	A	1	94							168	55	9,9	10,3
	97	5	B	1	97							174	53	10,2	9,7
	97	6	B	1	96							213	52	9,8	8,8
	98	5	B	1	106	152	37	4,12				245	52	10,3	10,2
	98	6	B	1	95							211	54	9,6	9,9
	97	5	C	1	140	158	36	4,44	1,8	2,6	0,71	378	37	9,5	7,5
	97	6	C	1	132	182	33	5,59				440	36	9,1	7,1
	98	5	C	1	148	156	42	3,71				378	40	9,8	8,9
	97	5	A	2	47							184	51	10,4	9,8
	97	6	A	2	46							261	49	10,4	9,3
	98	5	A	2	55	120	44	2,73	2,2	3,6	0,60	198	54	10,4	10,8
	98	6	A	2	63	123	41	2,99				192	54	10,2	10,2
	97	5	B	2	50	132	37	3,55	2,1	3,5	0,61	217	47	10,0	9,3
	97	6	B	2	57							177	52	10,2	9,5
	98	6	B	2	68	116	43	2,70	2,2	3,7	0,60	209	52	10,3	10,0
	97	5	C	2	88	109	37	2,93	1,8	3,5	0,53	248	46	10,2	9,3
	98	5	C	2	85	112	38	2,92				181	49	10,2	10,4
	98	6	C	2	83	107	34	3,15				197	52	10,3	10,5
M						135	39	3,54	2,0	3,4	0,61	235	50	10,1	9,6
sd						25	4	1	0,2	0,4	0,1	76	6	0,4	1
Spanne						107..182	33..44	2,7..5,59	1,8..2,2	2,6..3,7	0,53..0,71	168..440	36..55	9,1..10,4	7,1..10,8



Anhangstabelle 37: Der Gehalt an Hemicellulosemonomeren und phenolischen Säuren; der unlösliche Rest und netto Gasbildung aus HFT sowie die geschätzte umsetzbare Energie (ME) nach HFT und Rohrnährstoffgehalte

Pflanzenart	Jahr	Fl.	Nutz	Schni.	Wuchsd	Xyl	Ara	Xyl:Ara	PCA	FA	PCA:FA	unl.Rest	Gb	ME XF	ME HFT
						g/kg TS			g/kg TS			g/kg TS	ml	MJ/kg TS	
Rotschwi.	97	5	A	1	90							237	52	9,9	8,9
	98	5	A	1	101	161	37	4,36				253	54	10,1	10,5
	98	5	B	1	106	176	34	5,10				265	52	9,7	9,6
	97	5	C	1	140	164	31	5,24	2,4	2,8	0,85	480	37	9,4	7,4
	98	5	C	1	148	178	31	5,68				312	36	9,3	7,3
	97	5	A	2	47	141	37	3,84	2,7	3,5	0,78	163	47	10,3	9,0
	98	5	A	2	55	146	37	3,91				267	53	10,3	9,8
	97	5	B	2	50							213	47	9,9	8,5
	98	5	B	2	58	154	38	4,00	3,0	3,3	0,89	246	48	10,0	8,8
	97	5	C	2	88	134	36	3,69	2,5	3,2	0,79	274	47	10,2	8,9
	98	5	C	2	85	144	34	4,19				228	53	10,2	10,2
	M					155	35	4,45	2,6	3,2	0,83	267	48	9,9	9,0
	sd					15	3	1	0,3	0,3	0,1	80	6	0,3	1
	Spanne					134..178	31..38	3,69..5,68	2,4..3,0	2,8..3,5	0,78..0,89	163..480	36..54	9,3..10,3	7,3..10,5
W.lieschgr.	98	6	A	1	94							140	61	10,5	11,2
	97	6	A	2	46							233	53	10,4	9,3
	98	6	A	2	63							227	58	10,4	10,0
	97	6	B	1	96							184	59	9,7	9,8
	98	6	B	1	95							142	60	10,0	10,8
	97	6	B	2	57	122	38	3,18	2,0	2,7	0,75	192	58	10,2	9,9
	98	6	B	2	68							225	58	10,5	9,6
	97	6	C	1	132	158	33	4,81	2,0	2,0	1,01	355	46	9,4	7,7
	98	6	C	1	150	136	27	5,06				367	47	9,4	7,6
	97	6	C	2	90	147	35	4,17	0,5	1,0	0,47	356	44	10,1	7,8
	98	6	C	2	83	127	36	3,52				228	55	10,2	10,0
	M					138	34	4,15	1,5	1,9	0,74	241	54	10,1	9,4
	sd					15	4	1	0,9	0,9	0,3	83	6	0,4	1
	Spanne					122..158	27..38	3,18..5,06	0,5..2,0	1,0..2,7	0,47..1,01	140..367	44..61	9,4..10,5	7,6..11,2

Anhangstabelle 38: Der Gehalt an Hemicellulosemonomeren und phenolischen Säuren; der unlösliche Rest und netto Gasbildung aus HFT sowie die geschätzte umsetzbare Energie (ME) nach HFT und Rohrnährstoffgehalte

Pflanzenart	Jahr	Fl.	Nutz	Schni.	Wuchsd	Xyl	Ara	Xyl:Ara	PCA	FA	PCA:FA	unl.Rest	Gb	ME XF	ME HFT
						g/kg TS			g/kg TS			g/kg TS	ml	MJ/kg TS	
Rohrschwi.	97	7	A	1	91							183	57	9,8	9,3
	98	7	A	1	99							276	51	9,7	8,9
	97	7	B	1	98							186	58	9,7	8,8
	98	7	B	1	100	167	30	5,64				195	57	9,7	9,4
	97	7	C	1	144	160	31	5,22	1,9	2,0	0,95	383	44	9,5	6,7
	98	7	C	1	151							366	45	9,6	7,1
	97	7	A	2	35							135	51	10,0	8,6
	98	7	A	2	59							239	52	10,2	8,6
	97	7	B	2	56	165	39	4,21	3,1	3,7	0,83	230	52	9,5	8,4
	98	7	B	2	71	168	39	4,31				275	49	9,6	8,8
	97	7	C	2	94	157	43	3,62	2,5	3,2	0,78	258	49	9,7	8,6
	98	7	C	2	77	162	39	4,21				231	52	9,6	9,2
	M					163	37	4,5	2,5	3,0	0,85	246	51	9,7	8,5
	sd					4	5	1	0,6	0,9	0,1	73	4	0,2	1
Spanne						157..168	30..43	3,62..5,64	1,9..3,1	2,0..3,7	0,78..0,95	135..383	44..58	9,5..10,2	6,7..9,4
Glatthafer	98	6	A	1	94							158	58	10,1	10,7
	98	6	A	2	63							255	49	10,1	9,1
	98	6	B	1	95	182	33	5,57				219	53	9,2	9,0
	97	6	B	2	57	150	39	3,80	2,9	3,8	0,76	234	50	9,9	9,1
	98	6	B	2	68							281	49	10,0	8,9
	97	6	C	1	132	154	28	5,44	4,0	2,4	1,68	355	42	9,3	7,1
	98	6	C	1	150	187	27	7,02				496	35	8,7	5,7
	97	6	C	2	90	144	35	4,14	3,0	3,1	0,97	372	38	9,9	9,3
	98	6	C	2	83	151	44	3,42				305	43	9,9	9,1
	M					161	34	4,90	3,3	3,1	1,14	297	46	9,7	8,7
sd						19	7	1	0,6	0,7	0,5	100	7	0,5	1
Spanne						144..187	27..44	3,42..7,02	2,9..4,0	2,4..3,8	0,76..1,68	158..496	35..58	8,7..10,1	5,7..10,7

Anhangstabelle 39: Der Gehalt an Hemicellulosemonomeren und phenolischen Säuren; der unlösliche Rest und netto Gasbildung aus HFT sowie die geschätzte umsetzbare Energie (ME) nach HFT und Rohrnährstoffgehalte

Pflanzenart	Jahr	Fl.	Nutz	Schni.	Wuchsd	Xyl	Ara	Xyl:Ara	PCA	FA	PCA:FA	unl.Rest	Gb	ME XF	ME HFT
						g/kg TS			g/kg TS			g/kg TS	ml	MJ/kg TS	
Weißklee	98	6	A	1	94							98	57	11,9	11,4
	97	5	B	1	97							78	55	12,1	11,0
	97	6	B	1	96							94	56	11,9	11,0
	97	7	B	1	98							91	55	12,0	11,0
	98	5	B	1	106							100	58	12,0	11,3
	98	6	B	1	95							92	58	9,5	11,3
	98	7	B	1	100							108	59	12,0	11,3
	97	5	C	1	140	36	21	1,72	0,2	0,7	0,26	209	50	11,1	9,4
	97	6	C	1	132							150	53	11,0	9,8
	97	7	C	1	144	45	19	2,35	0,2	0,6	0,25	298	44	10,5	9,0
	98	5	C	1	148							209	49	11,0	9,5
	98	6	C	1	150							200	50	11,7	10,6
	98	7	C	1	151							249	46	10,8	9,5
	97	6	A	2	46							194	53	10,8	10,0
	98	5	A	2	55							258	47	10,3	9,5
	98	6	A	2	63							232	47	10,6	9,8
	97	5	B	2	50	39	20	1,94	0,2	0,8	0,29	284	47	10,5	9,5
	97	6	B	2	57	35	20	1,76	0,2	0,7	0,33	236	48	10,6	10,2
	97	7	B	2	56	38	18	2,06	0,2	0,6	0,27	318	41	10,5	9,8
	98	5	B	2	58							223	48	10,6	10,1
	98	6	B	2	68							167	51	10,7	10,3
	98	7	B	2	71							168	52	10,7	10,6
	97	5	C	2	88	23	30	0,77	0,2	0,9	0,23	127	56	11,0	11,0
	97	6	C	2	90							128	54	10,8	10,6
	97	7	C	2	94	27	29	0,95	0,2	0,8	0,22	150	52	10,8	10,2
	98	5	C	2	85							85	56	11,1	11,5
	98	6	C	2	83							79	54	11,0	11,3
	98	7	C	2	77							86	53	10,9	11,2
M						35	22	1,65	0,2	0,7	0,26	168	52	11,0	10,4
sd						7	5	1	0,0	0,1	0,0	74	4	1	1
Spanne						23..45	18..30	0,77..2,35	0,2..0,2	0,6..0,9	0,22..0,33	78..318	41..59	9,5..12,1	9,0..11,5

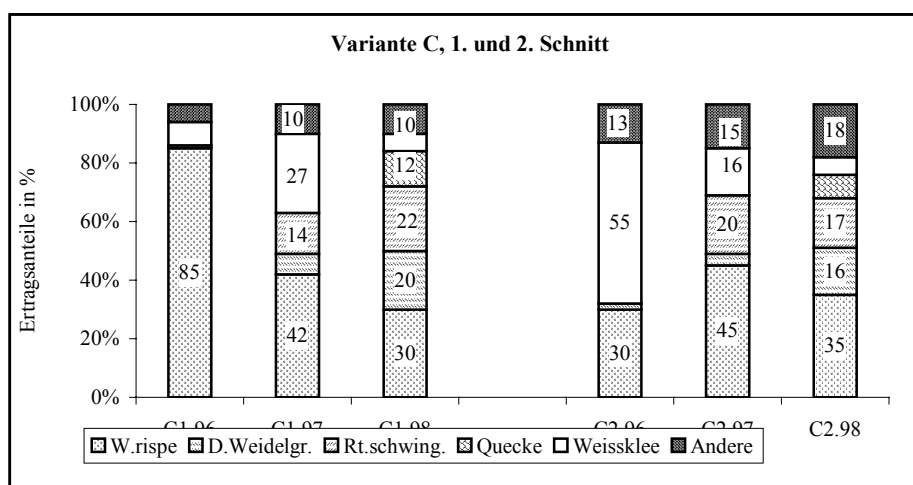
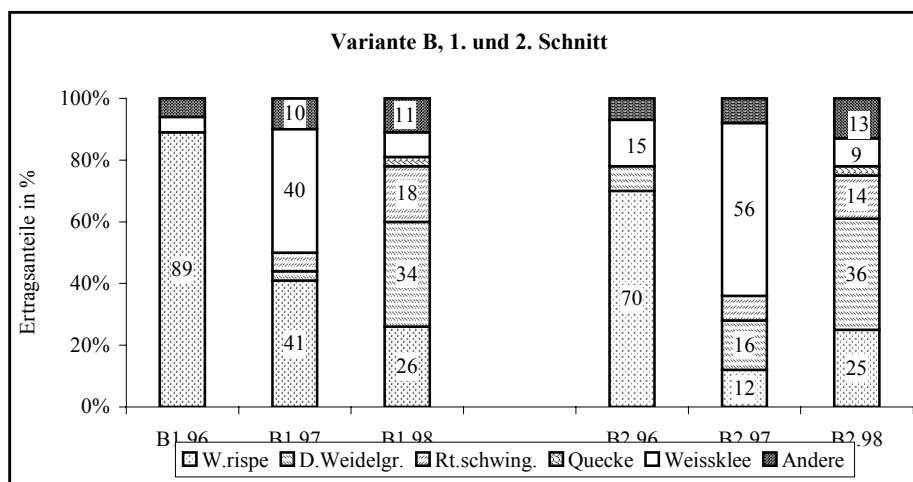
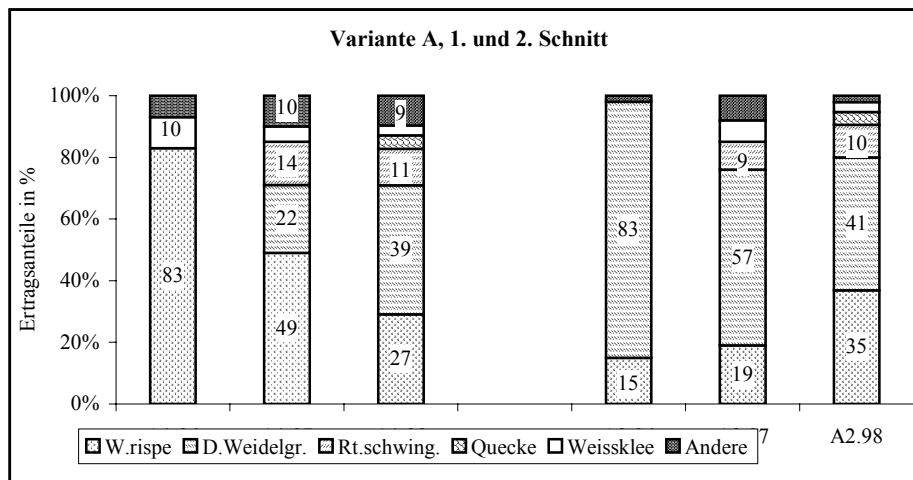


Abbildung A1: Ertragsanteile (%) der Hauptbestandsbildner bei Fläche 5 [Andere: Knautgras, Glatthafer, Löwenzahn, Distel u. a.]

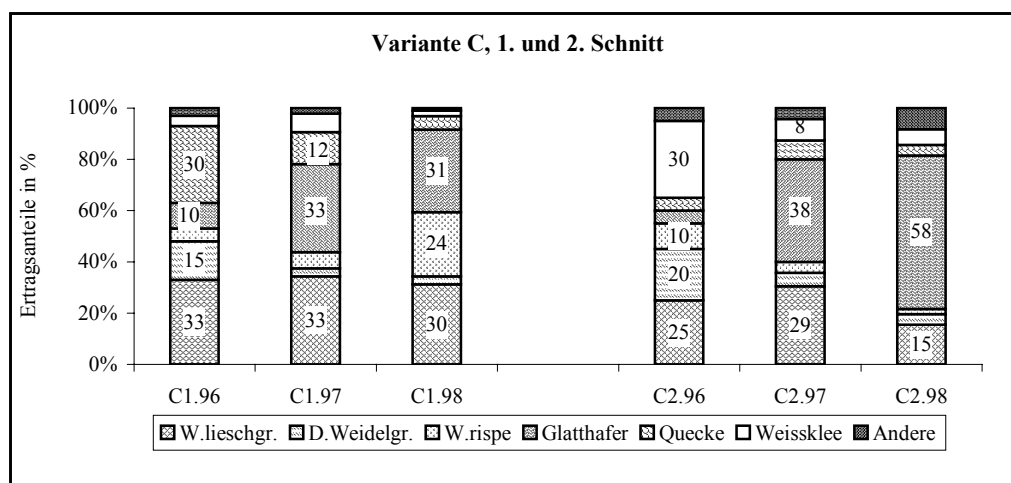
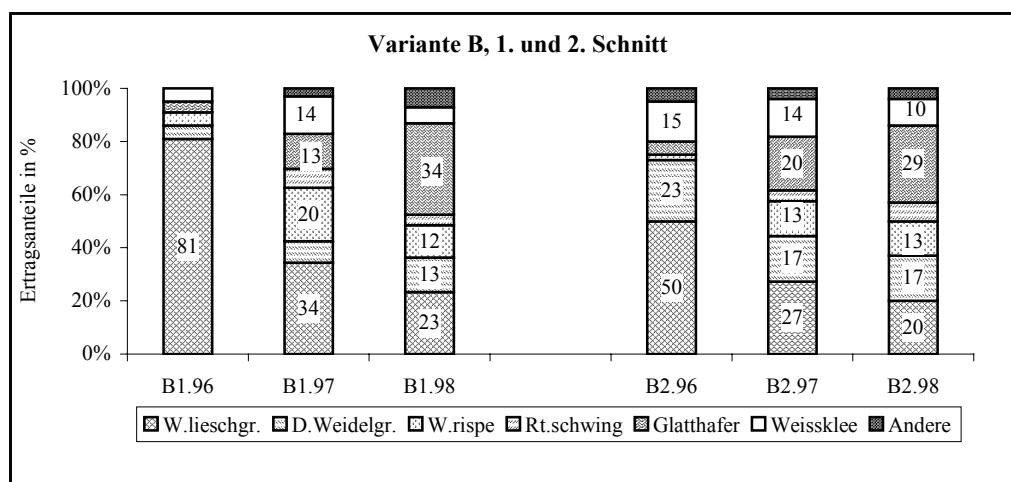
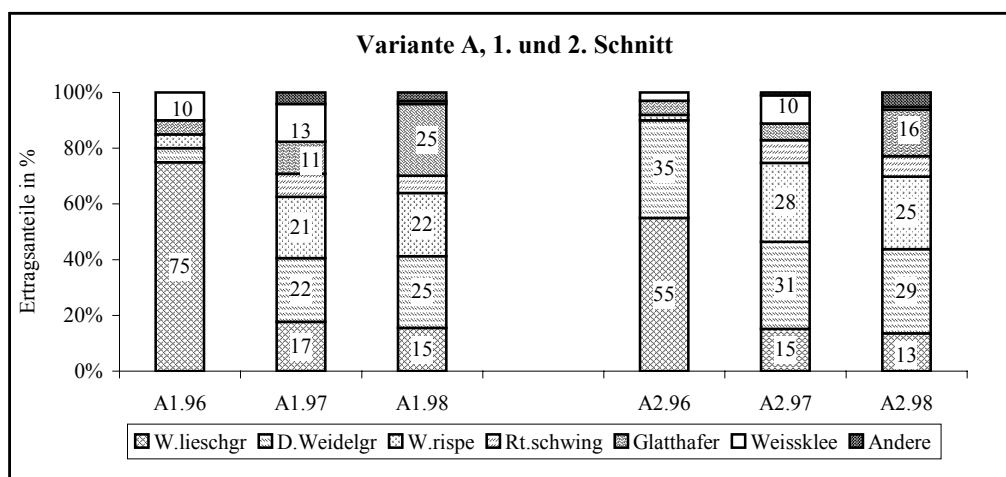


Abbildung A2: Ertragsanteile (%) der Hauptbestandbildner bei Fläche 6 [Andere: Löwenzahn, Knäulgras, Schafgarbe, Distel u. a.]

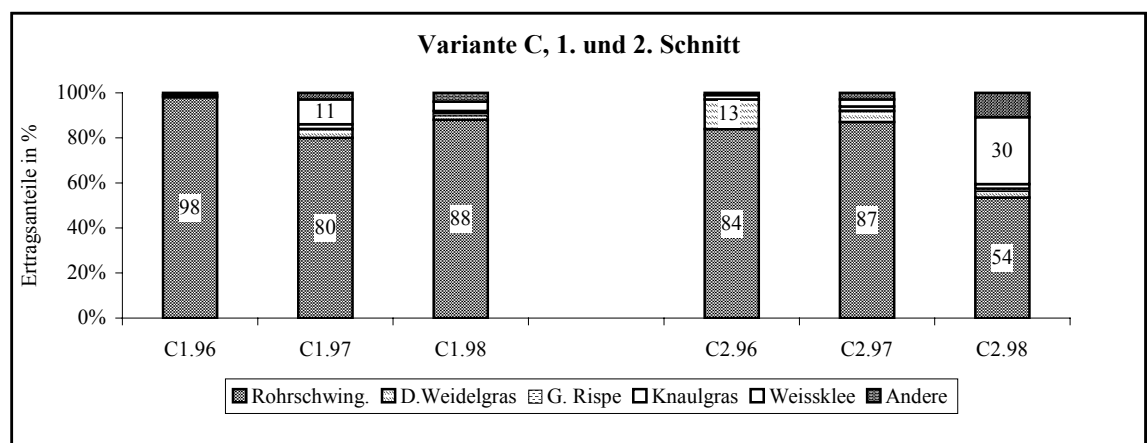
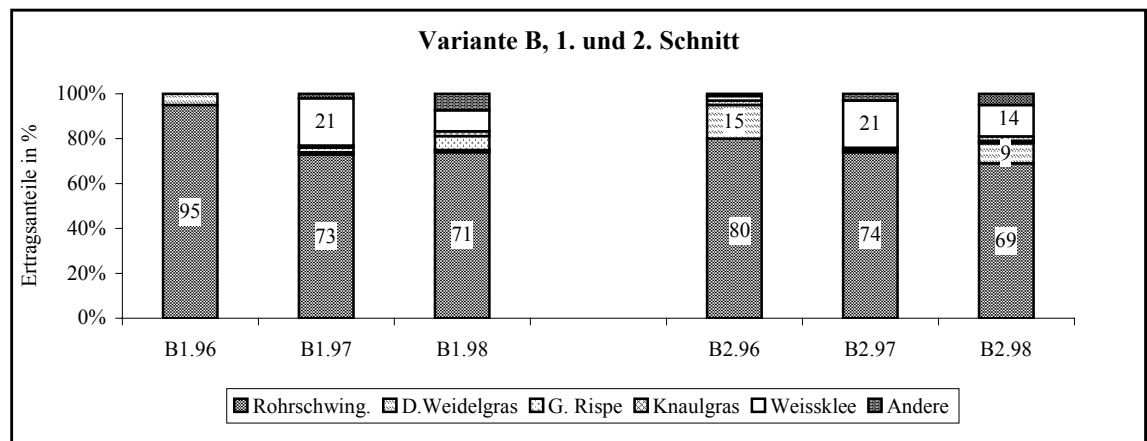
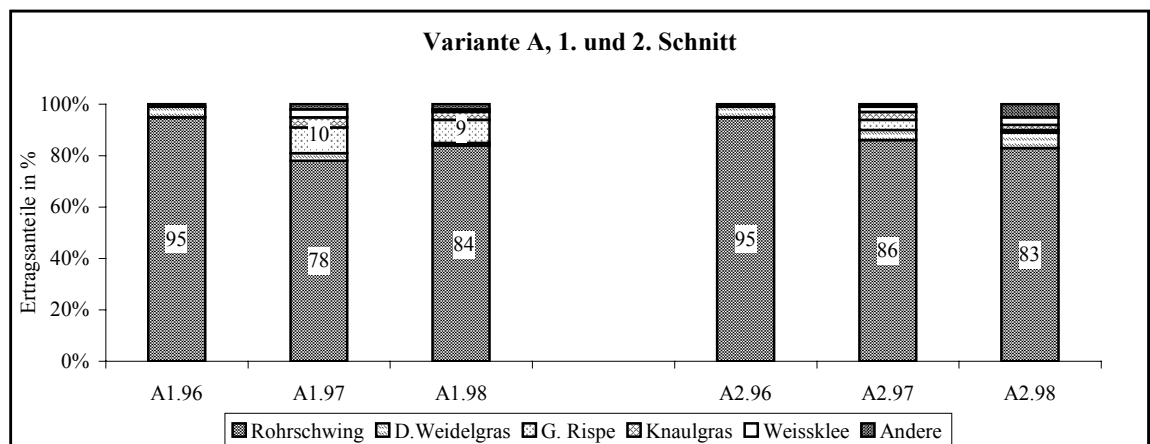


Abbildung A3: Ertragsanteile (%) der Hauptbestandsbildner bei Fläche 7 [Andere: Löwenzahn, Schafgarbe, Distel, Rainfarn, Vogelmiere u. a.]

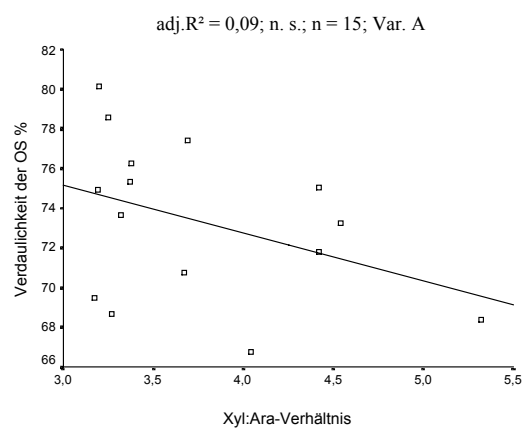
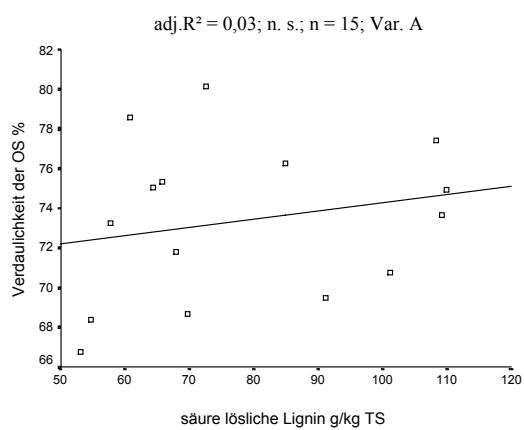
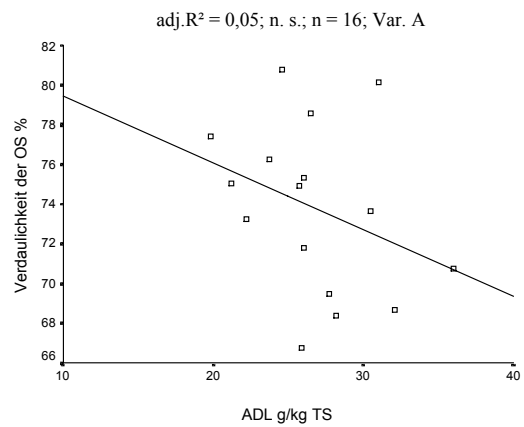
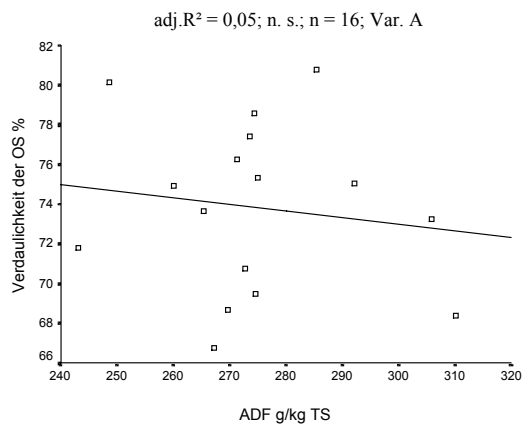
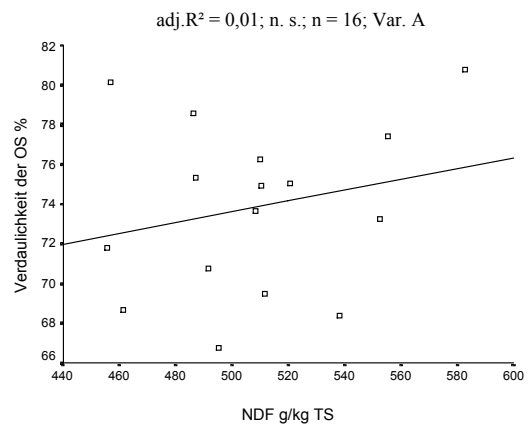
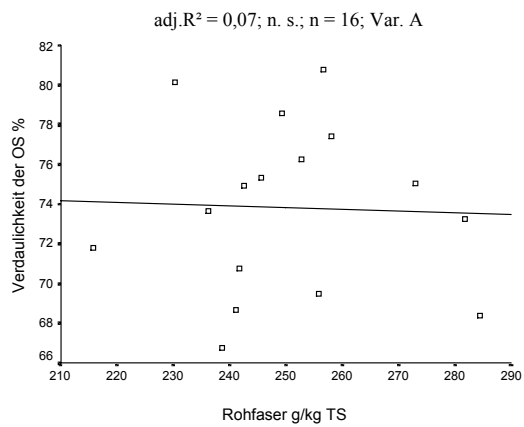


Abb. A4: Regression der Verdaulichkeit der OS zu Zellwandbestandteilen, Nutzung A

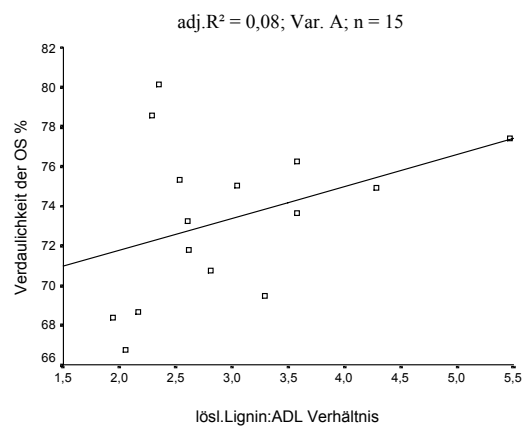
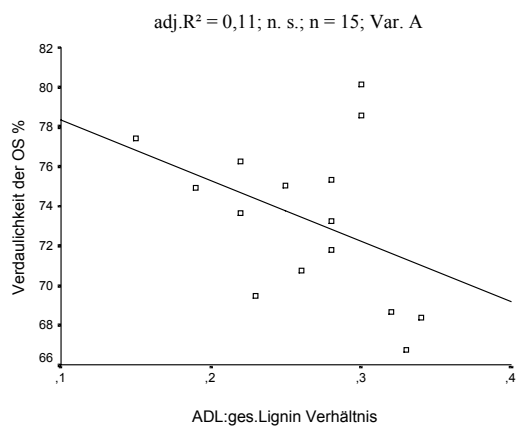
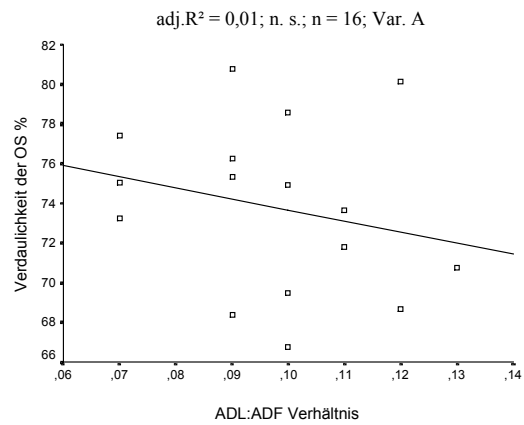
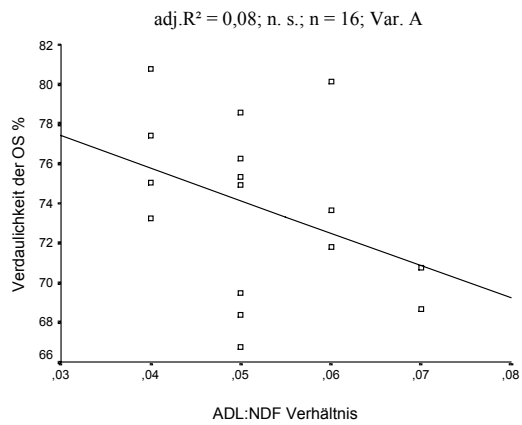


Abb. A5: Regression der Verdaulichkeit der OS zu Zellwandbestandteilen, Nutzung A



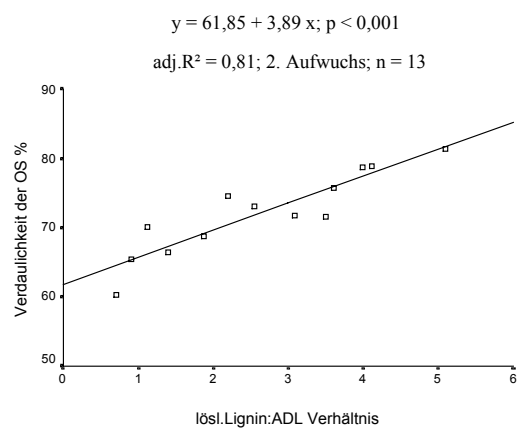
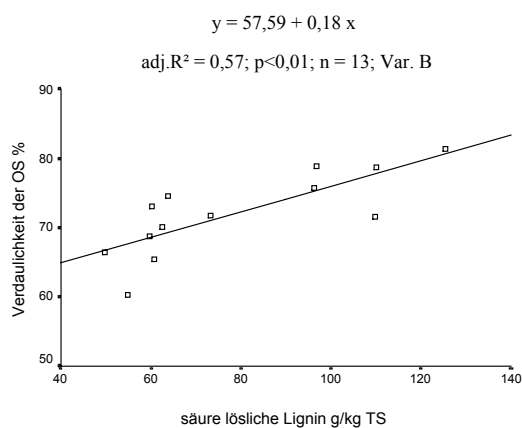
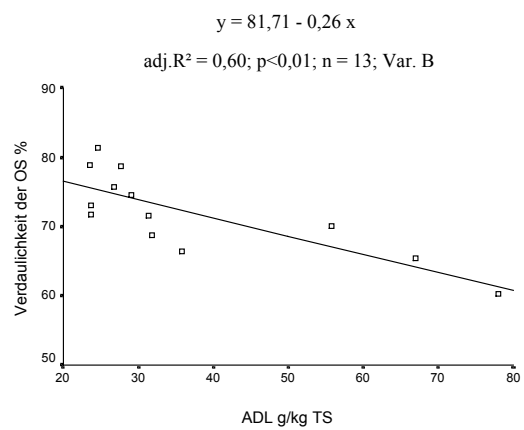
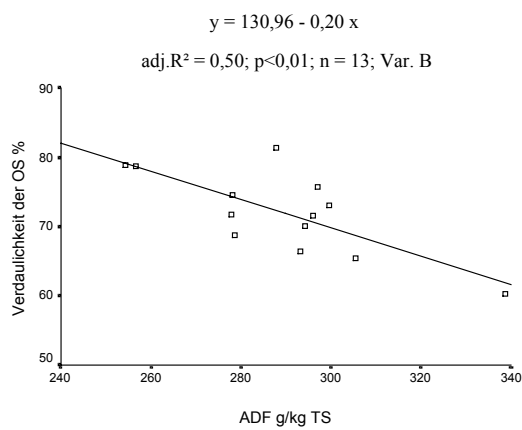
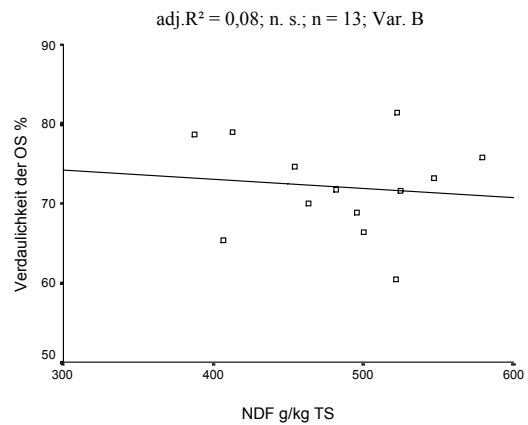
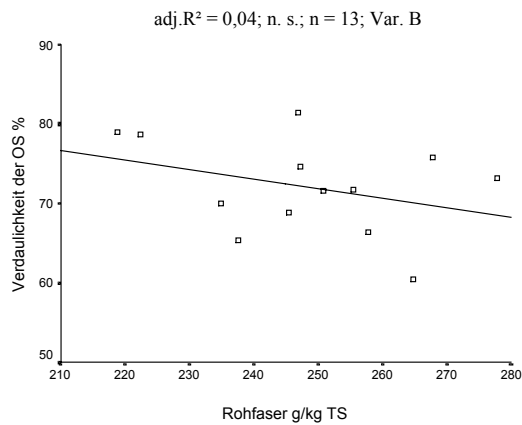


Abb. A6: Regression der Verdaulichkeit der OS zu Zellwandbestandteilen, Nutzung **B**

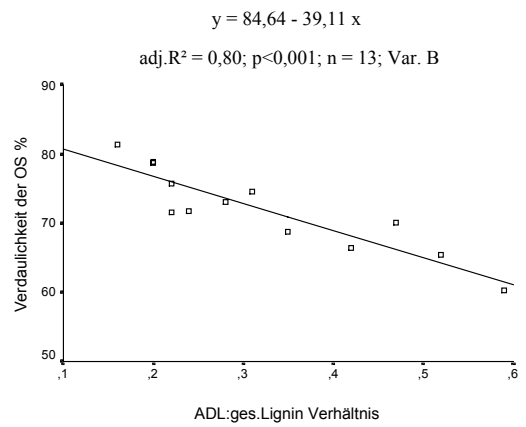
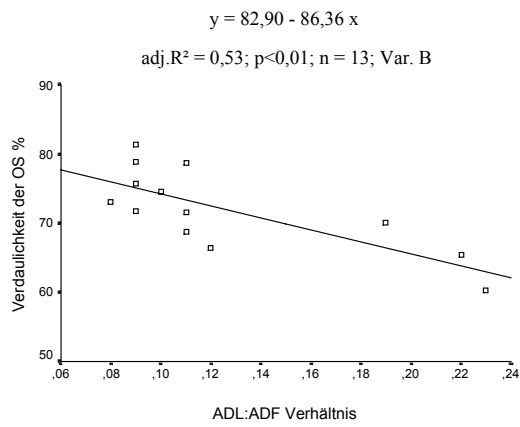
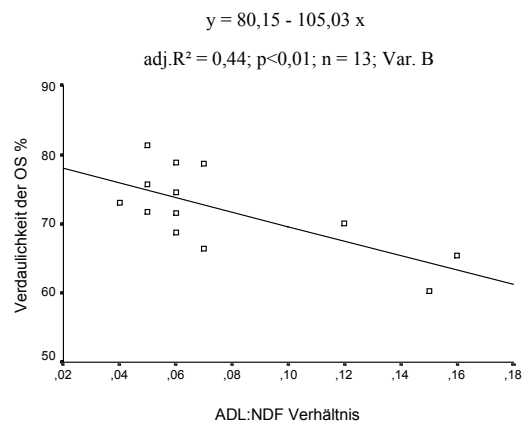
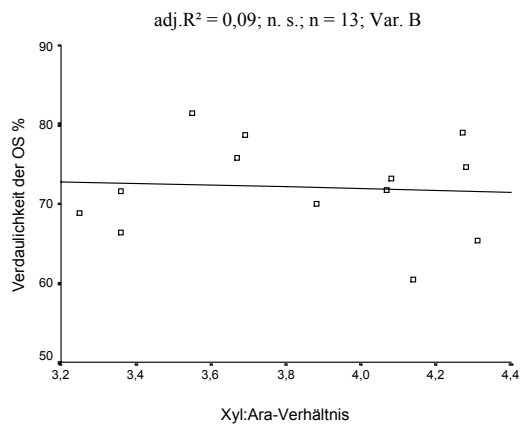


Abb. A7: Regression der Verdaulichkeit der OS zu Zellwandbestandteilen, Nutzung **B**

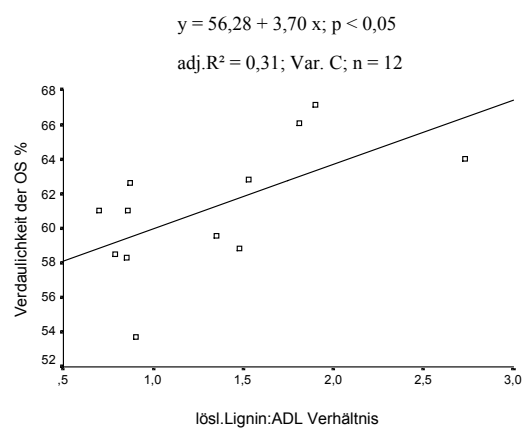
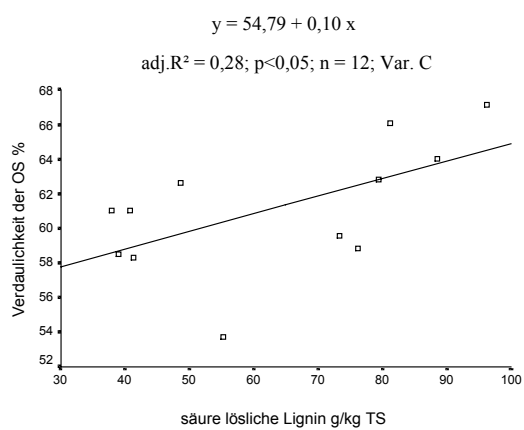
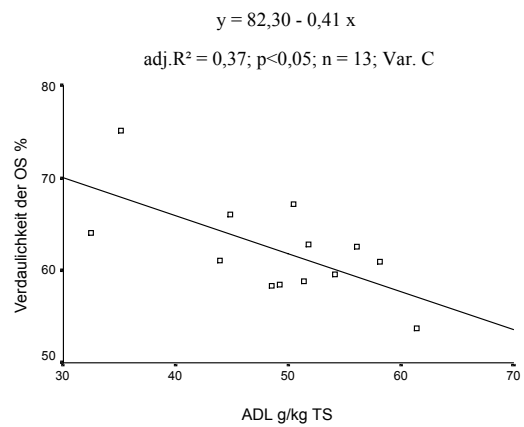
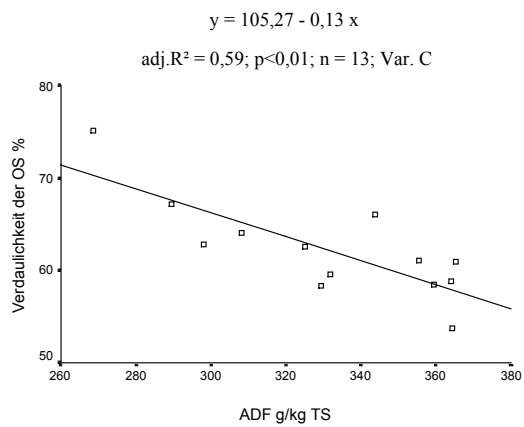
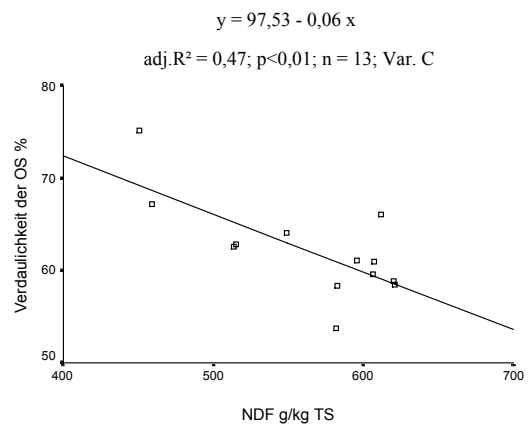
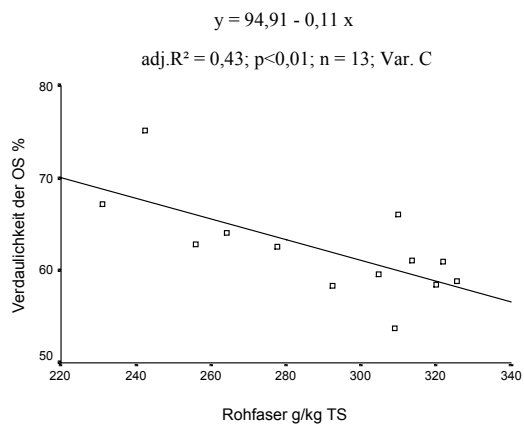


Abb. A8: Regression der Verdaulichkeit der OS zu Zellwandbestandteilen, Nutzung C

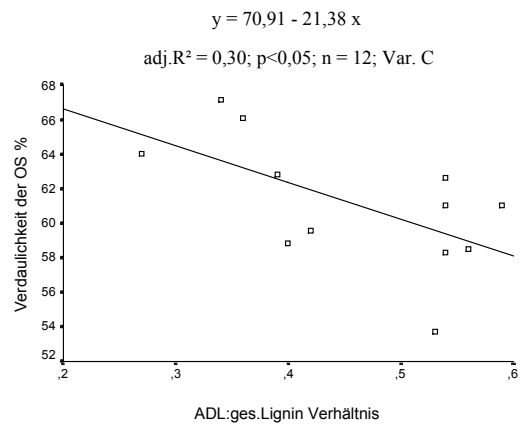
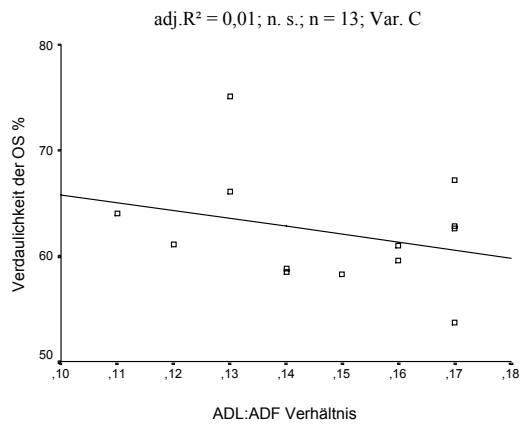
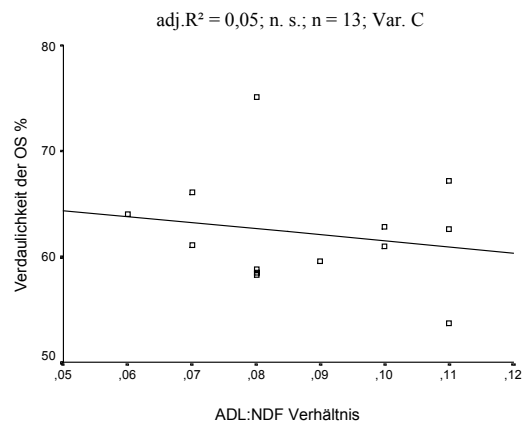
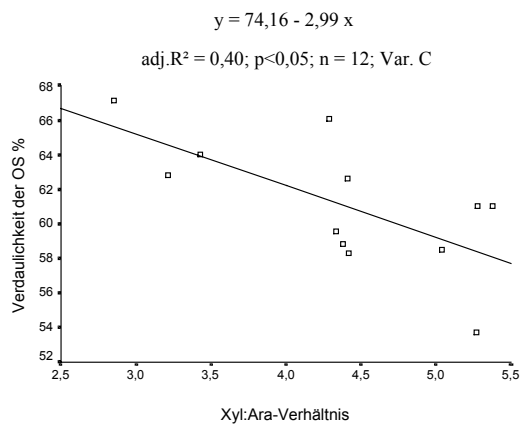


Abb. A9: Regression der Verdaulichkeit der OS zu Zellwandbestandteilen, Nutzung C